

Федеральное агентство по образованию
Уральский государственный технический университет - УПИ

Ю.Н. Логинов

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОРОШКОВ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Учебное пособие

Печатается по решению редакционно-издательского совета
УГТУ-УПИ от 28.02.2008 г.

Екатеринбург

УГТУ-УПИ

2008

УДК 621.72
ББК 34.6
Л69

Рецензенты:

кафедра механики Российского государственного профессионально-педагогического университета (зам. директора канд. физ.-мат. наук А.В. Песков); ст. науч. сотр. канд. техн. наук Б.И. Каменецкий (Институт физики металлов УрО РАН)

Ю.Н. Логинов

Л69 Изготовление полуфабрикатов и изделий
из порошков меди и медных сплавов: учебное пособие /
Ю.Н. Логинов. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 208 с.
ISBN 978-5-321-01367-0

Приведены сведения о технологии производства полуфабрикатов и изделий из порошков меди и медных сплавов. В том числе описаны исходные материалы, их свойства, способы производства. Представлено описание способа компактирования порошков меди и ее сплавов в закрытом контейнере. Выполнено описание напряженно-деформированного состояния порошкового тела при прессовании в закрытом контейнере. Рассмотрены способы изостатического формования, прокатки, спекания порошков меди, порошков меди и ее сплавов. Приведены принципы патентной классификации и информации в области обработки порошковых материалов на основе меди. Предназначено для студентов всех форм обучения направления 651300 – Metallurgy специальностей 1106000 – Обработка металлов давлением, 110800 – Композиционные и порошковые материалы, покрытия, а также слушателей ФПК.

Библиогр.: 19 назв. Табл. 43. Рис. 81.

УДК 621.72
ББК 34.6

ISBN 978-5-321-01367-0

© Уральский государственный
технический университет - УПИ, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

	С.
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ СВОЙСТВА, СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА.....	5
2. ОПИСАНИЕ СПОСОБА КОМПАКТИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ В ЗАКРЫТОМ КОНТЕЙНЕРЕ.....	30
3. ОПИСАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОШКОВОГО ТЕЛА ПРИ УПЛОТНЕНИИ.....	47
4. ИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ФОРМОВАНИЕ ПОРОШКОВ МЕДИ.....	64
5. ПРОКАТКА ПОРОШКОВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ.....	70
6. СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ.....	82
7. ПОЛУФАБРИКАТЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПОРОШКОВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ.....	88
8. ПАТЕНТНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ИНФОРМАЦИЯ В ОБЛАСТИ ОБРАБОТКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ.....	112
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	182
Библиографический список.....	183
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	185

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на почти непрерывное повышение цен на медьсодержащие полуфабрикаты и изделия, потребность в них имеет тенденцию к росту. Мировое потребление меди увеличивается ежегодно в среднем на 5...6 %, а в наиболее развитых странах рост составляет 14...16 %. Значимый сегмент рынка в этой области принадлежит порошковым изделиям и в целом продукции порошковой металлургии.

При построении технологий стараются развить наиболее прогрессивные способы обработки с тем, чтобы достичь наибольшей эффективности, снизить затраты, повысить качество продукции. Для достижения этой цели методы порошковой металлургии применяются при большом объеме или в случае невозможности получения необходимых характеристик изделий традиционными методами. В мире возникает все больше производств, ориентированных на обработку порошков, что доказывает эффективность этого направления, и, следовательно, сами работы по усовершенствованию и развитию методов обработки порошковых материалов актуальны.

В технической литературе данные в области технологии обработки порошковых заготовок обычно разделены следующим образом. В одних источниках информации описываются свойства порошков и изделий из них, а в других методы получения и обработки порошковых изделий, чаще всего без привязки к конкретным материалам. При этом оказывается, что некоторые технологии нельзя либо нерационально применить к той или другой группе материалов.

Более целесообразным подходом является соединение данных, касающихся способов и параметров обработки порошков одного из материалов, и описание получаемых при этом результатов в одном месте, и именно по этому принципу построено настоящее пособие.

1. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИХ СВОЙСТВА, СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА

Известны несколько способов получения порошков меди и ее сплавов, пригодных для использования в порошковой металлургии[1-3]. Основными являются три: распыление энергоносителем, электролиз раствора, восстановление из соединений (табл.1.1).

Таблица 1.1
Способы получения порошков меди и их свойства

Способ получения	Химический состав, %		Насыпная плотность, г/см ³	Теку- честь, с	Предел прочности при сжатии, МПа
	Cu	O ₂			
Распыление расплава энергоносителем	99,00...99,50	0,03...0,08	2,0...4,0	25...35	17
Электролиз раствора	99,00...99,95	0,10...0,40	1,0...3,0	40...50	24
Восстановление из оксидов	98,50...99,00	0,05...0,20	1,5...3,0	20...35	14







Как видно из таблицы, наибольшая прочность спрессованных полуфабрикатов достигается при использовании порошков, полученных электролизом раствора, т.е. электрохимическим методом. Это объясняется дендритным строением порошка, имеющим развитую поверхность. При этом текучесть этого материала оказывается самая низкая, что следует учитывать при расчете времени заполнения пресс-форм. Не очень высокие показатели насыпной плотности электролитического порошка меди приводят к необходимости проектирования высоких пресс-форм. Лучшие показатели текучести и насыпной плотности распыленных порошков приводили к неоднократным попыткам предприятий перейти именно на этот вид сырья.

В способе распыления порошка размер и форма частиц зависит от свойств распыляющей среды, давления и скорости потока. Небольшие добавки фосфора как раскислителя металла также влияют на размер частиц и их форму. После распыления и отжига в восстановительной атмосфере для уменьшения поверхности окисленных частиц полученный продукт измельчают, классифицируют и смешивают для достижения необходимого распределения по фракциям (гранулометрического состава). Чистота полученного продукта зависит от качества сырья, потому что специальное

рафинирование обычно не проводится. Частицы порошка могут быть сферическими или неправильной формы. Типичные формы частиц показаны в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Зарубежная классификация форм частиц порошка по данным ассоциации Copper Development Association

Размерность частиц	Название формы	Эскиз	Способ получения
Одномерные	Одноосная (acicular)		химическое восстановление
	Неправильной вытянутой формы (irregular rod-like)		химическое восстановление, механическое измельчение
Двумерные	Дендритная (dendritic)		электролитический
	Чешуйчатая (flake)		механическое измельчение
Трехмерные	Сферическая (spherical)		распыление
	Неправильной вытянутой формы (irregular rod-like)		распыление, химическое восстановление
	Неправильной формы (irregular) porous reduction of oxides		распыление, химическое восстановление
	Пористые (porous)		восстановление из оксидов
	Угловатые (angular)		механическое измельчение карбониллов

Гидрометаллургический процесс может быть использован для производства медного порошка из медного скрапа, концентрата или меди,

извлекаемой восстановлением железом из сульфатных растворов (cement copper). Медь извлекается из этих материалов серной кислотой или аммиачными растворами, и рабочий раствор отделяется от осадка фильтрованием. Медь затем восстанавливается из раствора водородом под давлением. По данным ассоциации Copper Development Association, восстановление возможно в автоклаве при 107...138°C в течение одного часа при давлении водорода 400 psi с добавлением присадок, контролирующих размер получаемых частиц. В процессе восстановления удается получить до 90...95 % меди в виде порошка. Порошок в виде пульпы перекачивают в центрифугу, где его отделяют от жидкости и промывают. Мокрый порошок просушивают в восстановительной атмосфере, перемалывают, классифицируют и смешивают до получения необходимого гранулометрического состава. Порошок, полученный этим способом, имеет относительно низкую плотность и высокую сырую прочность (green strength).

Процесс восстановления порошка в твердом состоянии (solid state reduction) основан на применении оксидов меди, в том числе медной прокатной окалины. Исходное сырье подвергают измельчению до контролируемого размера частиц и восстанавливают – обычно угарным газом, водородом или специально подготовленным природным газом при температуре ниже точки плавления меди. Размер частиц меди и их форма могут контролироваться варьированием размеров и форм частиц оксидов, температуры восстановления, давления и скорости подачи газа. Полученный порошок подвергается обработке в мельницах, классификации и смешиванию в желаемых пропорциях. Чистота получаемого продукта зависит от чистоты оксидов, так как не предусматриваются методы рафинирования исходного сырья. Обычно порошки, получаемые этим методом, имеют остаточную пористость, отличаются повышенной плотностью и прочностью, форма частиц неправильная.

Чешуйчатые порошки получают обычно из сплавов меди и используют в качестве наполнителей бронзовых металлических красок под золото (gold bronze). Порошки изготавливают из сплавов меди с цинком и алюминием, но могут быть использованы сплавы с оловом или никелем для изменения цветности. Сплав распыляют, загружают в шаровые мельницы совместно со смазкой, обычно стеариновой кислотой, и измельчают до нужного размера.

Свойства порошков, полученных различными методами, отражены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Типичные свойства порошков, полученных различными методами,
по данным ассоциации Copper Development Association

Показатель	Метод получения порошка			
	распыление atomized	электролиз electrolytic	гидрометаллургия (hydrometallurgy)	восстановление из твердого состояния (solid state reduction)
Содержание меди, %	99...99,5	99...99,5	99...99,5	98...99
Потеря массы при прокаливании в H ₂ (Weight Loss in H ₂), %	0,1...0,75	0,1...0,75	0,1...0,75	0,1...0,75
Нерастворимый остаток после обработки кислотой (Acid Insoluble), %	0,5...0,1	0,03 max	0,03 max	0,3 max
Насыпная плотность (Apparent Density), г/см ³	2...4	1,5...4	1,5...2,5	2...4
Текучность (Flow), с/50 г	20...35	30...40	—	20...35
Прочность сырья (Green Strength), psi (МПа)	2500 (17,2)	400...6000 (2,8...41,3)	10000 (68,9)	2500 (17,2)
Выход порошка через сито – 325 меш (mesh), %	25...80	5...90	60...95	25...50

Кроме анализа содержания химических элементов определяется параметр «нерастворимый остаток после обработки кислотой (Acid Insoluble)». Обычно в этом остатке содержатся сложные комплексные соединения меди с другими элементами. Параметр «потеря массы при прокаливании в H_2 (Weight Loss in H_2)» является мерой содержания кислорода в поверхностных слоях частиц порошка, что приходится учитывать из-за развитой поверхности порошка.

Важной характеристикой является пористость порошка. Внутренняя пористость уменьшает плотность, но не сказывается на реакционной способности порошка, поскольку поры не имеют выхода на поверхность частиц. Поры, контактирующие с поверхностью, уменьшают плотность, но также увеличивают эффективную поверхность и реакционную способность порошка.

Удельная поверхность порошка зависит от размера, формы и гранулометрического состава. Частицы неправильной формы обладают большей поверхностью, чем частицы округлой формы при том же самом размере. Шероховатость поверхности и внешняя пористость могут увеличивать реальную поверхность многократно по отношению к факторам размера частиц и показателя их формы. Реакционная способность порошка является важным фактором, поскольку такие процессы, как спекание, начинаются с поверхности, кроме того, от удельной поверхности зависят характеристики химических свойств и параметров диффузии.

Электrolитический метод производства медного порошка принято считать самым рентабельным. Дополнительным преимуществом его является возможность использования не самого чистого по химическому составу исходного сырья и дополнительного рафинирования металла во время самого процесса производства. За счет регулирования параметров технологического процесса удастся регулировать размер частиц, что отражается в широком диапазоне насыпной плотности $0,4 \dots 4 \text{ г/см}^3$.

Схема процесса изображена на рис. 1.1. На катоде, который часто изготавливают из свинца, происходят следующие реакции:



На растворимом аноде происходит выделение ионов меди, в основном двухвалентных (рис. 1.2):



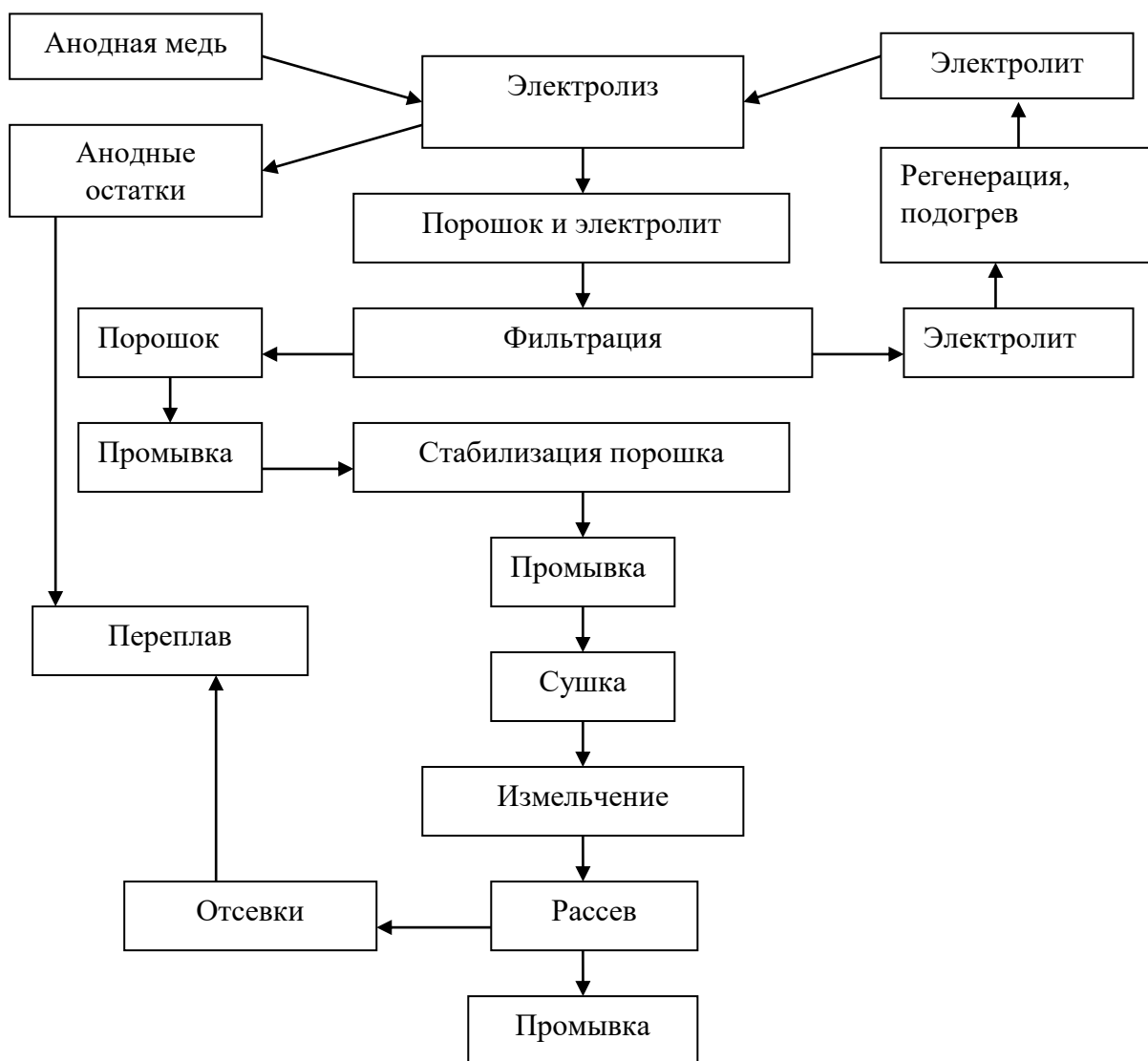


Рис. 1.1. Схема электролитического способа производства медного порошка

Медный порошок, удаленный с катодов, выгружают из ванны при помощи гидровакуумной системы. Для удаления механически захваченного электролита порошок промывают горячей водой. Оставшаяся на частицах пленка воды может вызывать нежелательную коррозию, поэтому применяют стабилизацию порошка, которая заключается в создании на поверхности частиц гидрофобной пленки на основе мыла, мылонафта или другого подобного вещества.

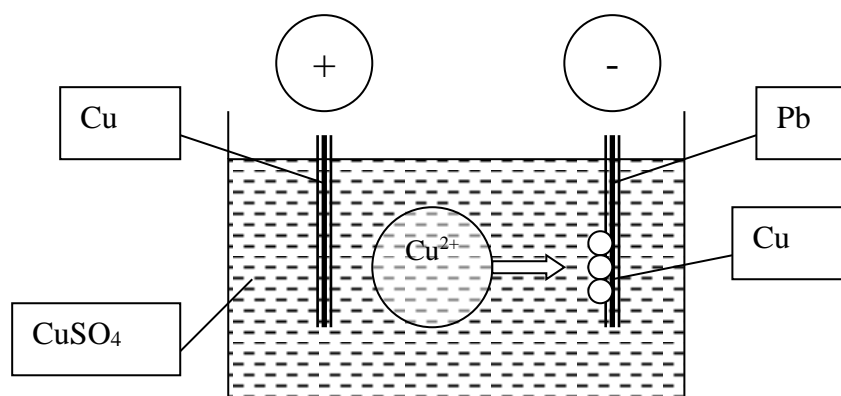


Рис. 1.2. Упрощенная схема электролиза меди

Химическим восстановлением водородом или смесью угарного газа и водорода из оксидов получают порошки меди размерами 20...300 мкм с губчатым строением. Они имеют показатели текучести на уровне распыленных порошков, насыпную плотность на уровне электролитических порошков, но показатели прочности у них ниже.

По содержанию кислорода наиболее чистыми оказываются распыленные порошки, за ними следуют восстановленные из оксидов и замыкают список электролитические порошки.

Схема производства распыленного порошка предусматривает проведение операций, перечисленных ниже.

- Взвешивание и составление шихты.
- Предварительный нагрев шихты.
- Плавка.
- Распыление.
- Обезвоживание.
- Сушка.
- Классификация по крупности.
- Накопление порошка по фракциям.
- Дозирование порошка по фракциям.
- Смешивание фракций.
- Расфасовка и упаковка.

На плавку подается древесный уголь после его просушки. При классификации отсеивают фракции порошка размером менее оговоренных стандартом и направляют их на брикетирование, после чего брикеты поступают на операцию составления шихты.

Электролизом раствора получают электролитический порошок меди, требования к которому предъявляются со стороны стандарта ГОСТ 4960 «Порошок медный электролитический».

Стандарт устанавливает требования к медному порошку, применяемому в электротехнической, приборостроительной, автомобильной, авиационной, машиностроительной, химической отраслях

промышленности и для поставки на экспорт. В зависимости от физико-химических свойств медный порошок изготавливают следующих марок:

ПМ – порошок нестабилизированный;

ПМС-1, ПМС-А – порошок стабилизированный;

ПМС-К – порошок стабилизированный конопаточный;

ПМС-В – порошок стабилизированный;

ПМС-Н – порошок стабилизированный низкодисперсный.

Область применения медных порошков и их химический состав указаны в табл. 1.4 и 1.5.

Таблица 1.4

Области применения порошков меди различных марок в соответствии с ГОСТ 4960

Марка порошка	Область применения
ПМС-В, ПМС-В _у	Авиационная и автомобильная промышленность дисков
ПМА, ПМА _у , ПМу	Авиационная, электрохимическая, химическая промышленность — для изготовления ответственных деталей, щеток электрических машин и фильтров для тонкой очистки массы
ПМС-1, ПМС-1 _у	Порошковая металлургия — для изготовления спеченных изделий: колец, втулок и др.; приборостроение
ПМС-К	Электроугольная промышленность — для заделки контактов
ПМС-Н	Порошковая металлургия — для изготовления менее ответственных деталей, химическая промышленность

Таблица 1.5

Химический состав, мас. %, медных порошков по ГОСТ 4960-75

Марка порошка	Cu	Fe	O	Прокаленный остаток после обработки порошка азотной кислотой, %
	не менее	не более		
ПМС-В _y	99,8	0,02	0,10	0,05
ПМС-В	99,5	0,02	0,10	0,05
ПМА _y , ПМ _y , ПМС-1 _y , ПМС-2 _y	99,7	0,02	0,20	0,05
ПМА, ПМ, ПМС-1	99,5	0,02	0,30	0,05
ПМС-2, ПМС-К, ПМС-Н	99,5	0,08	0,30	0,10

Примечание. Содержание примесей, % (не более): Pb — 0,05, As — 0,005, Sb — 0,001, сульфатов в пересчете на ион SO₄²⁻ — 0,01, влага — 0,05.

В соответствии с ГОСТ 4960 медный порошок изготавливается по технологическому регламенту, утвержденному в установленном порядке. Химический состав должен соответствовать нормам, указанным в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Химический состав медного порошка в соответствии с ГОСТ 4960-75

Марка порошка	Код ОКП	Химический состав, %								Влага, %, не более
		Cu, не менее	примеси, не более							
			Fe	Pb	Sb	As	O	f(S)	M _{по}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПМС-1	17 9311 0003	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,20	0,01	0,04	0,05
ПМС-А	17 9311 0007	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,30	0,01	0,04	0,05
ПМС-А	17 9311 0007	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,30	0,01	0,04	0,05

Продолжение табл.1.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ПМ	17 9311 0002	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,30	0,01	0,04	0,05
ПМС-К	17 9311 0005	99,5	0,06	0,05	0,003	0,005	0,50	0,01	0,05	0,05
ПМС-Н	17 9311 0006	99,5	0,06	0,05	0,003	0,005	0,50	0,01	0,05	0,05
ПМС-В	17 9311 0008	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,10	0,01	0,04	0,05
ПМС-1	17 9311 0003	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,20	0,01	0,04	0,05
ПМС-А	17 9311 0007	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,30	0,01	0,04	0,05
ПМ	17 9311 0002	99,5	0,018	0,05	0,003	0,005	0,30	0,01	0,04	0,05
ПМС-К	17 9311 0005	99,5	0,06	0,05	0,003	0,005	0,50	0,01	0,05	0,05
ПМС-Н	17 9311 0006	99,5	0,06	0,05	0,003	0,005	0,50	0,01	0,05	0,05

Примечание.

1. Содержание сернокислых соединений металлов в пересчете на ион SO_4^{2-} не более 0,01%.
2. $M_{\text{по}}$ – процент прокаленного остатка после обработки серной кислотой.
3. По требованию потребителя массовая доля меди для порошка марки ПМС-В – не менее 99,8 %, для остальных марок – не менее 99,7 %.

Гранулометрический состав медного порошка должен соответствовать нормам, указанным в табл. 1.7 и 1.8.

Таблица 1.7

Гранулометрический состав порошка ПМС-В

Марка	Номера сит	Класс по величине частиц, мм	Содержание фракции, %
ПМС-В	—	менее 0,045	10...25
	0045K	0,045...0,063	25...35
	0063K	0,063...0,100	35...45
	01K	0,100...0,140	5...15
	014K	0,140...0,224	не более 1,0
	0224K	свыше 0,224	не более 0,1

Таблица 1.8

Гранулометрический состав медных порошков

Марка	Размер частиц порошка, мм	Прохождение через сито с сетками по ГОСТ 6613, %, не менее						Остаток на сите номинальной величины, %, не более
		045K	0224K	018K	01K	0071K	0045K	
ПМ	0,1	—	-	-	99,5	90	65...80	0,5
ПМС-А	0,1	—	-	-	99,5	90	73...80	0,5
ПМС-1	0,1	—	-	-	99,5	90	65...80	0,5
ПМС-К	0,45	90	-	не более 10	-	-	-	10
ПМС-Н	0,224	—	95	-	-	-	-	5

Порошок марок ПМ и ПМС-1, предназначенный для электроугольной промышленности, должен проходить через сито с сеткой 0045K в количестве от 70 до 80%. Порошок не должен иметь посторонних включений и комков. По цвету медный порошок должен соответствовать образцу, согласованному изготовителем с потребителем. Насыпная плотность порошков и допустимый разброс ее значений должны соответствовать нормам, указанным в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Насыпная плотность порошков

Марка	Насыпная плотность, г/см ³	Допустимое отклонение плотности единичной упаковки от среднего значения показателя в партии
ПМС-А	1,3...1,5	+/- 0,1
ПМ	1,25...2,0	+/- 0,1
ПМС-1	1,25...1,9	+/- 0,1
ПМС-К, ПМС-Н	2,5...3,5	+/- 0,1
ПМС-В, ПМС-Ву	2,4...2,7	+/- 0,1

Насыпная плотность медного порошка, предназначенного для электротехнической промышленности, должна соответствовать для марок ПМС-А, ПМ 1,25...1,45 г/см³; для марки ПМС-1 1,7...2,0 г/см³. Количество частиц с условным диаметром 10 мкм и ниже в медном порошке марки ПМС-А должно быть 25...60%. Медный порошок марки ПМС-А должен иметь удельную поверхность частиц от 1000 до 1700 см²/г. Удельное

электрическое сопротивление медного порошка марки ПМС-А не должно превышать 25 мкОм·м.

Прочность на изгиб сырого образца из медного порошка марки ПМС-В с пористостью 25 % (плотностью 6,67 г/см³) должна быть не менее 600 МПа.

Текучесть порошка марки ПМС-В не должна превышать 36 с. Установленные показатели качества порошка марок ПМС-В в каждой единице упаковки партии не должны отличаться от средних значений соответствующих характеристик партии более чем на 10 %.

Форма частиц медного порошка всех марок должна быть дендритной.

В соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.007-76 по степени воздействия на организм человека медный порошок относят ко второму классу опасности. Предельно допустимая концентрация меди в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88 составляет 0,5 мг/м³. Контроль воздуха рабочей зоны – по ГОСТ 12.1.007-76. Предельно допустимое содержание ионов меди в воде 1,0 мг/дм³.

Порошок испытывают при применении следующих методов.

Отбор и подготовка проб производится по ГОСТ 23148-78 со следующими дополнениями: масса точечной пробы должна быть не менее 0,2 % массы единицы упаковки; масса объединенной пробы должна быть не менее 0,2% массы партии. Объединенную пробу тщательно перемешивают и сокращают методом квартования до представительной пробы массой 500 г.

Определение массовой доли меди производят по ГОСТ 13938.1-78, железа, свинца, сурьмы и мышьяка – по ГОСТ 9717.1-82 - ГОСТ 9717.3-82 или ГОСТ 13938.4-78, ГОСТ 13938.7-78, ГОСТ 13938.10-78, ГОСТ 13938.11-78.

Определение содержания кислорода – по ГОСТ 27417-87. Допускается по согласованию потребителя с изготовителем определять потерю массы при прокаливании в водороде по ГОСТ 18897-73.

Содержание сернокислых соединений металлов в пересчете на ион SO₄²⁻ определяют по ГОСТ 10671.5-74 со следующим дополнением.

Масса навески не менее 100 г. Навеску помещают в стакан вместимостью 500 см³, добавляют 100 см³ воды и нагревают в течение 30...40 мин на кипящей водяной бане при постоянном перемешивании. Фильтруют через двойной фильтр средней плотности, промывают порошок декантацией 2...3 раза. Фильтрат помещают в мерную колбу вместимостью 100 см³, доводят водой до метки и перемешивают. Аликвотную часть раствора 2...10 см³ (в зависимости от массовой доли иона SO₄²⁻) помещают в мерную колбу вместимостью 25 см³, прибавляют 0,5...1 см³ соляной кислоты, разбавленной 1:1, 3 см³ раствора крахмала и перемешивают. Затем приливают 3 см³ хлористого бария, доливают водой

до метки и снова перемешивают. Далее анализ проводят по ГОСТ 10671.5-74 фототурбидиметрическим методом. В растворах сравнения должно содержаться 0; 0,01; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,10; 0,15; 0,20 мг иона SO_4^{2-} .

Определение содержания нерастворимого в азотной кислоте остатка производится следующим образом.

Навеску медного порошка массой 5 г взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г, помещают в стакан вместимостью 500 см³, приливают небольшими порциями азотную кислоту, разбавленную 1:1, в количестве 100...120 см³ и накрывают часовым стеклом. Растворение ведут без нагревания.

В конце реакции содержимое стакана подогревают, кипятят 10...15 мин, после чего раствор разбавляют дистиллированной водой и фильтруют. Остаток на фильтре промывают несколько раз горячей водой до исчезновения реакции промывных вод на медь (с гексацианаферратом калия). Фильтр с осадком помещают в прокаленный и взвешенный фарфоровый тигель, осторожно озоляют и прокаливают в муфельной печи до постоянной массы при температуре 800...850 °С. Тигель с прокаленным остатком охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

Гранулометрический состав определяют методом ситового анализа при помощи набора сит с сетками по ГОСТ 6613-86.

Масса пробы медного порошка марки ПМС-В для ситового анализа должна составлять 100 г, для остальных марок 25 г. Сита укладывают по возрастающему размеру ячеек, поддон помещают под ситами. Испытываемую пробу высыпают на верхнее сито и прикрывают его крышкой. Систему сит помещают на встряхиватель марки 029М и включают его на 20 мин (частота встряхиваний от 140 до 180 в минуту). Отдельные фракции высыпают из сит и поддона и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Масса навесок всех фракций для порошка марки ПМС-В должна составлять не менее 99% массы испытываемой пробы, для порошка остальных марок 98% массы испытываемой пробы.

Количество частиц медного порошка с условным диаметром не более 10 мкм определяют седиментационным анализом по методике, согласованной сторонами.

Определение насыпной плотности проводят по ГОСТ 19440-94, определение текучести – по ГОСТ 20899-75 с использованием воронки, изготовленной из парамагнитного материала твердостью 140 НВ (сталь марки Ст40Х), с калиброванным выходным отверстием диаметром 2,54 мм.

Определение прочности сырой прессовки заключается в способности образца с заданной плотностью выдерживать при изгибе усилие не менее 60 МПа. Применяется испытательный пресс любой конструкции, допускающий испытание на сжатие с усилиями от 0 до 100 кН и

позволяющий прикладывать нагрузку со скоростью 100 Н/мин, а также испытательная машина усилием до 20 Н.

Испытание проводят на заранее спрессованных образцах длиной (30 \pm 0,1) мм, шириной (10 \pm 0,1) мм, толщиной 5,0...6,0 мм. При изготовлении образцов внутреннюю поверхность матрицы смазывают кисточкой раствором, состоящим из 100 г стеарата цинка, разведенного в 1 дм³ трихлорметана, затем осушают поверхность струей воздуха.

Засыпают навеску в матрицу, равномерно распределяют и изготавливают прессовку под давлением 35 МПа. Усилие к образцу прикладывают дважды. Испытание проводят не менее чем на трех образцах.

Отметив верхнюю часть образца, подвергают прессовку испытаниям на прочность. Давление на прессовку прикладывают постепенно, увеличивая его со скоростью 100 Н/мин, и отмечают величину в момент разрушения. Предел прочности прессовки вычисляют по формуле с учетом усилия в момент излома, расстояния между опорами, толщины и ширины образца. За результат испытаний принимают среднее арифметическое результатов трех определений.

Определение удельной поверхности производят с помощью одного из приборов: ПСХ-4, ПСХ-2 или АДП-3. Навеску порошка массой 30 г помещают в кювету на слой фильтровальной бумаги, разравнивают легким постукиванием и уплотняют плунжером (от руки) для прибора АДП-3 с помощью приставки к этому прибору. Затем измеряют высоту слоя при помощи конуса на пленке плунжера и шкалы по внешней поверхности кюветы и при помощи груши под порошком создают разрежение, величина которого должна быть такой, чтобы жидкость в манометре поднялась до уровня верхней колбочки. Измеряют время (в секундах) прохождения мениска жидкости в манометре между двумя рисками и температуру воздуха. Удельную поверхность, см²/г, вычисляют по формуле с учетом константы прибора, указанной в паспорте прибора; коэффициента для измеряемой высоты слоя и температуры воздуха, найденного по таблице, прилагаемой к инструкции прибора; времени опускания мениска между рисками, массы навески.

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов трех определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,1 м²/кг. Удельное электрическое сопротивление медного порошка находят по методике, согласованной изготовителем с потребителем. Содержание влаги в порошке устанавливают по ГОСТ 18317-94. Допускается проводить определение содержания влаги по ГОСТ 2477-65 с применением в качестве растворителя толуола (по методике Дина и Старка). Форму частиц определяют с помощью микроскопа при 300-кратном увеличении по ГОСТ 25849-83. Контроль на отсутствие посторонних включений и комков проводят внешним осмотром и

просевом через сито N 018K (по ГОСТ 6613-86) 1/3 части объединенной пробы.

Медный порошок упаковывают в стальные барабаны с внутренним полиэтиленовым мешком. Вместимость барабанов 25, 45, 50, 80 дм³. На поверхность нестабилизированного порошка кладут полотняный мешочек с силикагелем марки КСМ или ШСМ (по ГОСТ 3956-76) массой 50 г. Полиэтиленовые мешки заваривают или увязывают двойной увязкой, обеспечивающей герметичность при транспортировании и хранении.

Порошок хранят в упаковке изготовителя в закрытых помещениях при температуре не выше +25 °С, при отсутствии в окружающей атмосфере окисляющих веществ.

В России производство медных порошков локализовано на нескольких предприятиях, в качестве примера рассмотрим некоторые из них. Фирма «Металэнерготранс» — предприятие, созданное на базе Рязанского опытно-экспериментального металлургического завода института «Гинцветмет». Основной продукцией предприятия являются медные порошки марки ПМР. Медный порошок, выпускаемый предприятием «Металэнерготранс», представляет собой медные частицы в основном сферической формы, среди которых встречаются частицы неправильной формы. Цвет медного порошка от розово-красного до золотистого.

Медный порошок разделен по фракциям, т.е. в составе каждой фракции находятся частицы примерно одного размера. Поставка осуществляется по фракциям: от минимальной, порядка десятых долей, а также сотен микрон, до максимальной, порядка 1 мм. Возможно получение гранул до 3 мм. На рис. 1.3 приведена фотография порошка в состоянии поставки.



Рис. 1.3 Порошок медный распыленный марки ПМР, полученный методом переплавки медного сырья и последующего распыления струей воздуха в воду

Химический состав порошка производства фирмы «Металэнерготранс»(мас.%): меди не менее 99,0; примесей (не более): 0,09 свинца, 0,06 олова; 0,03 цинка, 0,01 алюминия; 0,01 железа, остальное кислород.

Для растворения в медных сернокислых электролитах в производстве медной электролитической фольги и медного купороса, а также в качестве лигатуры в черной и цветной металлургии используется порошок следующего гранулометрического состава, %:

свыше 3 мм	2...4;
1...3 мм –	3...5;
0,4...1,0 –	60...80;
0,1...0,4 –	10...20
менее 0,1 мм –	остальное.

Для порошковой металлургии и как составляющий компонент в производстве лакокрасочных изделий и материалов порошок производится со следующими характеристиками:

свыше 0,1 мм	0...2;
0,063 ...0,1мм –	2...20;
0,05...0,063 –	20...40;
менее 0,05 мм –	40...80.

Совместное российско-германское предприятие ООО "УЭМ-ЭККА" было основано в 1993 году на территории крупнейшего в Европе предприятия ОАО "Уралэлектромедь".

Предприятие специализируется на производстве металлических порошков на основе меди методом водного распыления. Сырьем для производства порошков на основе меди являются медные катоды – готовая продукция ОАО "Уралэлектромедь". Производство порошков осуществляется на немецком оборудовании, что позволяет выпускать металлические порошки, соответствующие качеству мирового стандарта. Производимая продукция пользуется спросом на мировом рынке благодаря широкой области ее применения в различных областях промышленности.

Совместное предприятие УЭМ-ЭККА одновременно является дочерним предприятием немецкого концерна ECKA GRANULES, имеющего 15 филиалов во многих странах мира. Объем производства медных порошков доведен до 20000 т. Фирма поддерживает несколько торговых знаков, в том числе ECKA BROMIX® на подготовленные для формования порошковые смеси порошков меди, олова и парафина. Подобные же материалы разработаны в области применения алюминиевых и магниевых порошков.

В табл. 1.10 приведены значения насыпной плотности некоторых марок выпускаемых порошков.

Таблица 1.10

Насыпная плотность медного порошка фирмы УЭМ-ЭККА

Марка порошка	Насыпная плотность, г/см ³
ЕСКА Granulate Copper	
AK<0,5 мм	5,2
AK<0,315 мм	5,1
AK<0,16 мм	5,0
AK<0,063 мм	4,7
AK<0,045 мм	4,4
WS-U<0,315 мм	4,2
WS-U 0,1-0,315 мм	3,9
WS-U<0,1 мм	4,2
ЕСКА POUDMET Copper	
21 GS-45/150	3,8
21 GS-100	3,3
21 GS-150	4,2
21 GSG-100/2.2	2,2
21 GSG-100/2.6	2,6
21 GSG-100/2.9	2,8
21 GSG-400	2,6
ЕСКА MicroMet Reduced Copper	
RCP 285	2,85
RCP 275	2,75
RCP 270	2,70
RCP 260	2,60

Для применения в процессах раскисления меди выпускаются порошки с повышенным содержанием фосфора (табл. 1.11).

Таблица 1.11

Характеристика медно-фосфористых порошков фирмы УЭМ-ЭККА

Марка порошка	Состав сплава, %	Насыпная плотность, г/см ³	Размер частиц, мм	Форма частиц
POUDMET Copper-Phosphorous				
25 GO 93/7 -200	Cu93-P7	2,2	<0,075	Неправильная
25 GO 86/14 -200	Cu86-P14	2,6	<0,075	Неправильная
ЕСКА Copper-Phosphorous				
94/6 AK 0,16-0,315 мм	Cu94-P6	4,5	0,16-0,315	Сферическая
94/6 AK<0,16 мм	Cu94-P6	4,5	<0,16	Сферическая
94/6 AK <0,071 мм	Cu94-P6	4,4	<0,071	Сферическая
94/6 AK <0,1 мм	Cu86-P14	3,7	<0,1	Сферическая

Для применения в химической промышленности, для производства твердых смазок, композиционных материалов, добавок в графитовые токосъемные щетки используются чешуйчатые порошки, свойства которых указаны в табл. 1.12.

Порошки чешуйчатой формы имеют малую протяженность в одном из направлений измерения. При нанесении на поверхность в качестве твердой смазки частицы располагаются направленно: своим большим основанием они прилегают к этой поверхности, создавая надежный смазочный слой без разрывов в объеме. При работе графитовых токосъемных щеток используется этот же принцип, только наряду с плоской формой частиц меди применяется плоская форма частиц графита.

Таблица 1.12

Характеристика медных порошков чешуйчатой формы фирмы УЭМ-ЭКА

Марка порошка	Насыпная плотность, г/см ³	Удельная поверхность, г/см ²	Размер частиц, мм
ЕСКА Copper			
MP 5300	1,1	3.000	<0,045
MP 6100	1,1	4.000	<0,045
MP 7200	1,1	7.500	<0,045
MP 7450	0,8	>10.000	<0,045
POURMET Copper			
22 VB-100	2,0	1.200	<0,16
22 BV-400	1,0	4.000	<0,045

Дендритную форму имеют порошки, выпускаемые под марками, отображенными в табл. 1.13-1.16. Их область применения: графитовые щетки, тормозные колодки, подшипники скольжения, спеченные металлические изделия, твердые припои, композиционные материалы, сварочные электроды, буровые колонки с алмазными вставками, химические реактивы.

Порошки дендритной формы обладают меньшей текучестью, чем порошки округлой формы, поэтому скорость заполнения пресс-форм оказывается меньше, что следует учитывать при организации процесса уплотнения.

Таблица 1.13

Характеристика медных порошков дендритной формы марки ЕСКА
Granulate Copper фирмы УЭМ-ЭККА

Серия, тип		Насыпная плотность, г/см ³	Содержание кислорода, %	Удельная поверхность, г/см ²	Размер, мм
Легкая	CH-L 7	0,7	<0,35	2300	<0,063
	CH-L 8	0,8	<0,30	2300	<0,063
	CH-L 10	1,0	<0,25	2300	<0,045
	CH-L 12	1,2	<0,20	1800	<0,045
Средняя	CH-M 13	1,3	<0,20	1800	<0,063
	CH-M 15	1,5	<0,15	1600	<0,063
	CH-M 17	1,7	<0,20	1200	<0,1
Тяжелая	CH-S 20	2,0	<0,15	1100	<0,1
	CH-S 24	2,4	<0,10	-	<0,16
	CH-S 27	2,7	<0,10	-	0,075-0,63
	CH-ST	2,7	<0,10	-	0,08-0,315

Таблица 1.14

Характеристика медных порошков дендритной формы легкой и средней серий марки ЕСКА MicroMet Copper фирмы УЭМ-ЭККА

Серия, тип		Насыпная плотность, г/см ³	Содержание кислорода, %	Удельная поверхность, г/см ²	Размер, мм
Легкая	FFL-2	0,8	<0,17	1800	<0,080
	FFL	1,0	<0,17	1400	<0,080
Средняя	FL	1,27	<0,17	1300	<0,080
	FM	1,55	<0,12	1000	<0,080
	FS	1,85	<0,12	700	<0,080
	FSD	1,85	<0,12	700	<0,080

Таблица 1.15

Характеристика медных порошков дендритной формы марки ЕСКА
MicroMet Copper тяжелой серии фирмы УЭМ-ЭККА

Марка	Насыпная плотность, г/см ³	Содержание кислорода, %	Содержание фракции менее 40 мкм	Размер частиц, мм
AFZ	2,4	<0,1	48%	<0,250
SSM	2,4	<0,1	40%	<0,250
М	2,4	<0,1	27%	<0,250
К	2,4	<0,1	14%	<0,250

Таблица 1.16

Характеристика медных порошков дендритной формы марки ЕСКА
MicroMet Copper Grits фирмы УЭМ-ЭККА

Марка	Насыпная плотность, г/см ³	Содержание кислорода, %	Размер частиц, мм
GF	2,4	<0,07	0,080...0,250
GG	3,0	<0,07	0,080

Для изготовления фильтров, покрытия проводниковых материалов и изготовления графитовых щеток применяются порошки меди с серебром, их характеристика приведена в табл. 1.17

Таблица 1.17

Характеристика медно-серебряных порошков дендритной и чешуйчатой форм марок Kontaktargan и ЕСКА Copper фирмы УЭМ-ЭККА

Марка	Содержание серебра, %	Насыпная плотность, г/см ³	D ₅₀ , мкм	Размер частиц, мм	Форма частиц
Kontaktargan					
Kontaktargan 5	5	0,8	40	<0,063	Чешуйчатая
Kontaktargan 10	10	0,8	12	<0,045	Чешуйчатая
Kontaktargan 20	18	0,5	8	<0,045	Чешуйчатая
ЕСКА Copper					
CH-S No. 34862/G Ag5	5	1,9	-	<0,045	Дендритная
CH 25/50 Ag3	3	2,7	-	0<08-0,315	Дендритная

Для изготовления подшипников, алмазных инструментов, наполнителей металлопластиков и взрывчатых веществ применяются бронзы с характеристиками, приведенными в табл. 1.18

Таблица 1.18

Характеристика порошков неправильной формы из бронз фирмы УЭМ-ЭЖКА

Марка	Состав сплава	Насыпная плотность г/см ³	Размер, мм
POUDMET Bronze			
25 GR 90/10-80	Cu90-Sn10	3,0	<0,18
25 GR 90/10-325		3,2	<0,045
25 GR 90/10-450		3,2	<0,032
25 GR 85/15-325	Cu85-Sn15	2,9	<0,045
25 GR 85/15-450		2,9	<0,032
25 GR 80/20-325	Cu80-Sn20	2,7	<0,045
25 GR 80/20-450		3,0	<0,032
25 GR 60/40-325	Cu60-Sn40	2,8	<0,045
25 GR 88/10/2-325	Cu88-Sn15-PO, 1	3,0	<0,045
25 GR 88/10/2-450		3,0	<0,032
25 GR 85/15/P1-325	Cu80-Sn20-PO, 1	2,6/3,2	<0,045
25 GR 80/20/P1-325	Cu80-Sn20-PO, 1	2,3/3,0	<0,045
ЕЖКА Bronze			
94/6 AS<0,063 мм	Cu 94-Sn6	4,5	<0,063
96/4 AS<0,063 мм	Cu96-Sn4	4,5	<0,063
MicroMet Bronze			
Bz 96/4 -0,063 мм	Cu96-Sn4	3,7	<0,063
Bz 96/4 -0,063 мм		3,6	<0,160
Bz 90/10 -0,040 мм	Cu90-Sn10	3,6	<0,63
BzC 90/10		3,2	<0,040
Bz 90/10 -0,063 мм		3,2	<0,063
Bz 90/10 -0,160 мм		3,5	<0,160
Bz 90/10 -0,315 мм		3,0	<0,315
Bz 85/15 -0,040 мм	Cu85-Sn15	3,0	<0,040
Bz 85/15 -0,063 мм		3,2	<0,063
Bz 85/15 -0,160 мм		3,5	<0,160
Bz 80/20 -0,040 мм	Cu80-Sn20	3,2	<0,04
Bz 80/20 -0,063 мм		3,0	<0,063
Bz 80/20 -0,160 мм		3,0	<0,160
Bz 80/20 -0,200 мм		2,9	<0,200
Bz 87/10/3 -0,160 мм	Cu87-Sn10-Zn3	3,0	<0,160

Для изготовления тормозных колодок, самосмазывающихся подшипников применяются сплавы меди со свинцом с характеристиками,

приведенными в табл. 1.19, 1.20. Предел растворимости свинца в меди достаточно мал, поэтому свинец в этих материалах выступает в роли отдельной твердой фазы. Поскольку свинец обладает малой прочностью, то создаются предпосылки к легкой приспособляемости поверхностей трения, они легко «притираются» друг к другу. Хорошо известны антифрикционные свойства свинца, которые используются в данном случае.

Таблица 1.19

Характеристика порошков неправильной формы из сплавов меди и свинца
ЕСКА MicroMet Copper-Lead фирмы УЭМ-ЭККА

Марка порошка	Состав сплава, %	Насыпная плотность, г/см ³	Размер, мм	Форма частиц
Cu/Pb 70/30-100	Cu70Pb30	3,7	<0,125	Неправильная
Cu/Pb 70/30-160	Cu70Pb30	3,7	<0,2	Неправильная

Таблица 1.20

Характеристика порошков неправильной формы из свинцовой бронзы
ЕСКА MicroMet Copper-Lead-Tin фирмы УЭМ-ЭККА

Марка сплава	Состав сплава, %	Насыпная плотность, г/см ³	Размер частиц, мм
Cu84 Pb8 Sn8 -100	Cu84Pb8Sn8	3,7	<0,12
Cu84 Pb8 Sn8 -160	Cu84Pb8Sn8	3,7	<0,20
Cu80 Pb10 Sn10 - 100	Cu80Pb10Sn10	3,7	<0,12
Cu80 Pb10 Sn10-160	Cu80Pb10Sn10	3,7	<0,20

Порошки на основе сплава меди и цинка применяются в качестве составляющих фрикционных материалов, при пайке, в качестве пигментов и при нанесении защитных покрытий, их свойства отражены в табл. 1.21.

Таблица 1.21

Характеристика порошков неправильной формы из латуни фирмы
УЭМ-ЭККА

Марка порошка	Состав сплава, %	Насыпная плотность, г/см ³	Фракция, мм
POUDMET Brass			
25 GT 50/50 -100	Cu50-Zn50	2,5	<0,16
25 GT 60/40 -100	Cu60-Zn40	2,9	<0,16
25 GT 80/20 -100	Cu80-Zn20	3,0	<0,16
ЕСКА Brass			
60 AS<0,1 мм	Cu60-Zn40-Si0,3	4,0	<0,1
I AS<0,063 мм	Cu91-Zn8-Al1	3,5	<0,063
II AS<0,063 мм	Cu84-Zn15-Al1	3,5	<0,063
V AS 0,16-0,5 мм	Cu71-Zn-28,5- Al0,5	3,3	0,16-0,5
V AS<0,16 мм	Cu71-Zn-28,5- Al0,5	3,6	<0,16
V AS<0,063 мм	Cu71-Zn-28,5- Al0,5	3,6	<0,063

Из меди с содержанием основного металла более 99,9 % и олова с содержанием основного металла более 99,85 % фирма УЭМ-ЭККА производит порошок сферической формы марки 89/11 АК (89%Cu, 10,7%Sn, 0,3 %P). Характеристики порошка: насыпная плотность более 4,5 г/см³; плотности утряски более 5,0 г/см³ с высокими показателями текучести. Порошок рассеивают по фракциям: 89/11 АК<0,2 мм; 89/11 АК<0,063 мм; 89/11 АК<0,045 мм; АВ 100...200 мкм АВ 80...120мкм. Фракции АВ имеют специальный размер частиц для производства прецизионных подшипников.

Для изготовления фильтров выпускаются сферические порошки бронзы ЕСКА Spherical Bronze модификаций 89/11 АК: 0,045...0,09 мм; 0,08...0,16 мм; 0,1...0,2 мм; 0,16...0,315 мм; 0,2...0,315 мм; 0,315...0,4 мм; 0,315...0,63 мм; 0,63...1,0 мм; 0,045...0,063 мм; 0,063 ...0,09 мм; 0,09...0,125 мм; 0,1...0,18 мм; 0,18...0,25 мм; 0,25...0,355 мм; 0,355...0,5 мм; 0,5...0,71 мм; 0,71...1,0 мм.

С целью производства изделий без специальной подготовки изготавливаются готовые смеси в соответствии с табл. 1.22. Смеси предназначены для изготовления маслonaполненных подшипников, спеченных бронзовых изделий.

Таблица 1.22

Характеристика стандартных смесей фирмы УЭМ-ЭККА

Марка смеси	Состав	Свойства			
		Насыпная плотность, г/см ³	Текучесть, с	Прочность прессовок, МПа	Изменения размеров при спекании, %
ЕСКА BROMIX 52070/G	CuSn90/10+ парафин	2,85	<30	>18	+0,7
ЕСКА BROMIX 52071/G	CuSn90/10+ графит + парафин	2,75	<30	>15	+1,1
POUDMET BROMIX EX-720	CuSn90/10+ парафин	3,0	<40	>4	-1,0
POUDMET BROMIX EX-626	CuSn90/10+ графит + парафин	3,0	<40	>4	+0,7

Дисперсно-упрочненные композиционные материалы (ДУКМ) на основе порошковой меди могут быть получены методами химико-механического легирования в атриторах (рис. 1.4).

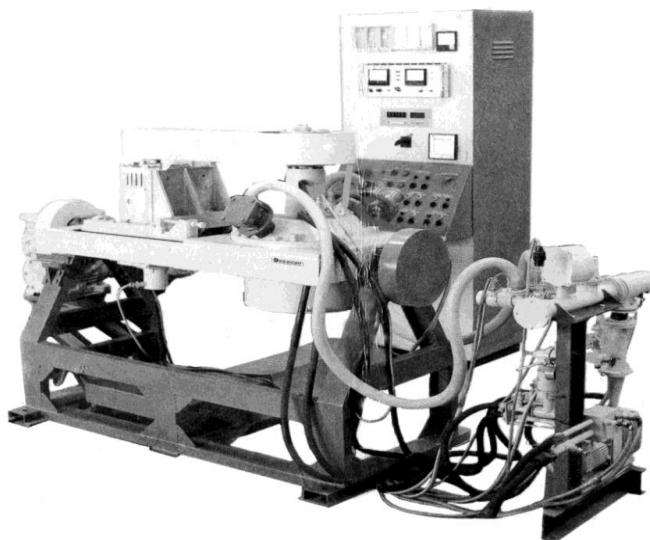


Рис. 1.4. Атритор для химико-механического легирования порошковых композиций

Техническая характеристика одного из типов атриторов представлена в табл. 1.23.

Таблица 1.23

Техническая характеристика атритора

Характеристика	Значение
Рабочий объем реактора, л	45
Масса загрузки порошков, кг	5...12
Масса мелющих шаров, кг	60...120
Скорость вращения вала с билами, об/мин	0...900
Мощность привода, кВт	15
Габаритные размеры, мм	1150x2900x1700
Масса, кг	2500

Применение высокоэнергетического смесеприготовительного оборудования (атриторов) позволяет резко повысить качествоготавливаемых смесей путем измельчения до ультрадисперсного состояния (до сотых доли микрона) легирующих или упрочняющих компонентов и соединений и равномерного их распределения в основе материала.

2. ОПИСАНИЕ СПОСОБА КОМПАКТИРОВАНИЯ ПОРОШКОВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ В ЗАКРЫТОМ КОНТЕЙНЕРЕ

Методы расчета процессов деформации порошковых тел отличаются от обычных способов анализа, принятых для расчета компактных металлов, тем, что при формоизменении порошковых тел не выполняются фундаментальные гипотезы несжимаемости и сплошности.

Способ формования порошков в закрытом контейнере является одним из самых распространенных в практике формования изделий. Такому широкому распространению способствовали следующие достоинства метода:

- простота технологической оснастки;
- возможность использования наряду со специализированными прессами - автоматами в качестве оборудования неспециализированных прессов;
- возможность получения не полуфабрикатов, а готовых изделий, в том числе сложной конфигурации в поперечном сечении, вплоть до шестерен, кулачков и т.д.

Вместе с тем для процесса одностороннего формования характерны недостатки, в числе которых уменьшение плотности ρ по мере удаления порошка от перемещаемого пуансона (рис. 2.1) из-за противодействия напряжений трения τ на стенках контейнера.

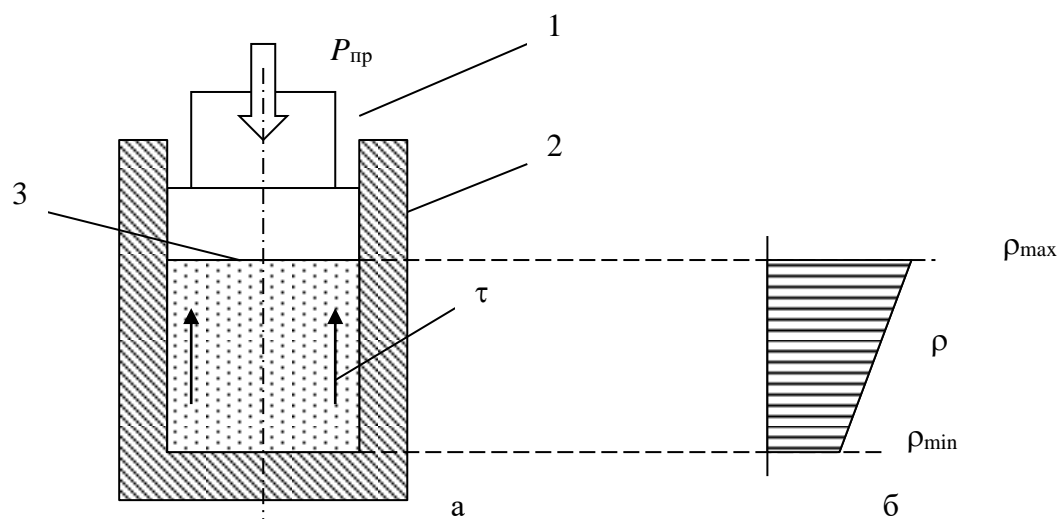


Рис. 2.1. Схема одностороннего прессования порошка в закрытом контейнере (а) и эпюра распределения плотности по высоте (б): 1 – пуансон; 2 – контейнер; 3 – порошок; τ – напряжения трения

Для уменьшения вредного воздействия напряжений трения прибегают к схеме двустороннего прессования, при котором взаимному

перемещению подвергают верхний и нижний пуансоны (рис. 2.2) при неподвижном контейнере или один из пуансонов и контейнер. В результате удастся в два раза сократить длину контактной поверхности, на которой действуют напряжения трения. Как видно из рисунка, максимумы плотности локализуются вблизи контактных поверхностей пуансонов, а минимум располагается посередине высоты. Современные прессы в большинстве своем работают по схеме двустороннего прессования, за счет чего повышается равномерность распределения плотности по высоте заготовки. В качестве примера такого оборудования на рис. 2.3 изображен

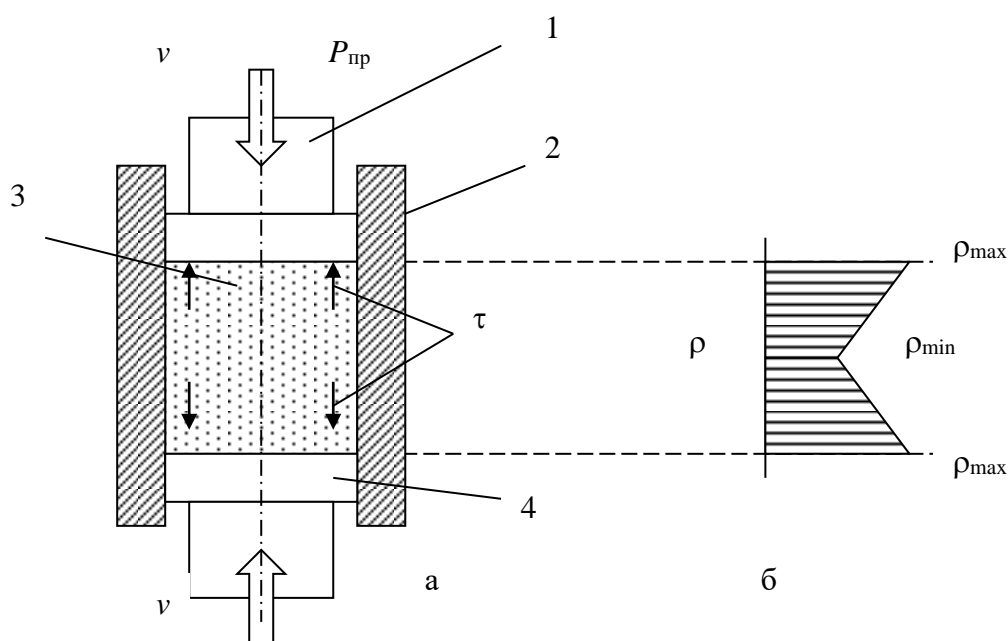


Рис. 2.2. Схема одностороннего прессования порошка в закрытом контейнере (а) и эпюра распределения плотности по высоте (б): 1 – верхний пуансон; 2 – контейнер; 3 – порошок; 4 – нижний пуансон; τ – напряжения трения

пресс-автомат фирмы DORST.

Для уменьшения вредного влияния напряжений трения используют дополнительные методы, в том числе уменьшение шероховатости поверхности инструмента за счет применения операций его шлифования и полирования. Применяются также дополнительные материалы, которые замешиваются в состав порошковых смесей, у этих веществ несколько функций, одна из которых – снижение коэффициентов внешнего и внутреннего трения.

При уплотнении низких заготовок часто пренебрегают действием напряжений трения и силу прессования $P_{пр}$ определяют на основе очевидного равенства

$$P_{пр} = p \cdot F ,$$

где F – площадь поперечного сечения полости контейнера; p – напряжение прессования.

Полученное значение силы сравнивают с номинальным усилием прессы $[P]$, при выполнении неравенства $P < [P]$ делают вывод о возможности применения данного оборудования.



Рис. 2.3 Пресс-автомат марки ТРА 6/2 фирмы DORST
с максимальным усилием 60 кН

Примером конструкции пресса-автомата отечественного производства, использующего только механический силовой привод, является пресс К8130, схема которого приведена на рис. 2.4.

Прессы такого типа выполнены по схеме выталкивания детали из матрицы нижним пуансоном. Они обеспечивают как свободное плавание матрицы под действием трения порошка о стенки матрицы, так и принудительное перемещение матрицы под действием цилиндров увода матрицы, расположенных в прессующей головке прессы. Прессы имеют механизмы для регулирования положения верхнего пуансона, высоты камеры засыпки, положений верхнего и нижнего упоров центрального стержня, положения нижнего пуансона, упора плавления матрицы, упора остановки матрицы.

От двигателя 1 вращение передается пневмофрикционной муфте 2. При включении ее дисков вращается вал 3, на котором скользит блок шестерен 4. Такая коробка передач позволяет регулировать скорость вращения вала 5, от которого через шестерни 6,7,8,9 вращение передается валу 10. На нем находится зубчатая муфта 11, с помощью которой достигается дополнительная двухступенчатая регулировка скорости. От вала 10 через шестерни 12 и 13 вращение передается на промежуточный вал 17, а от вала 14 через две пары шестерен 15 и 16 – на главный вал 17.

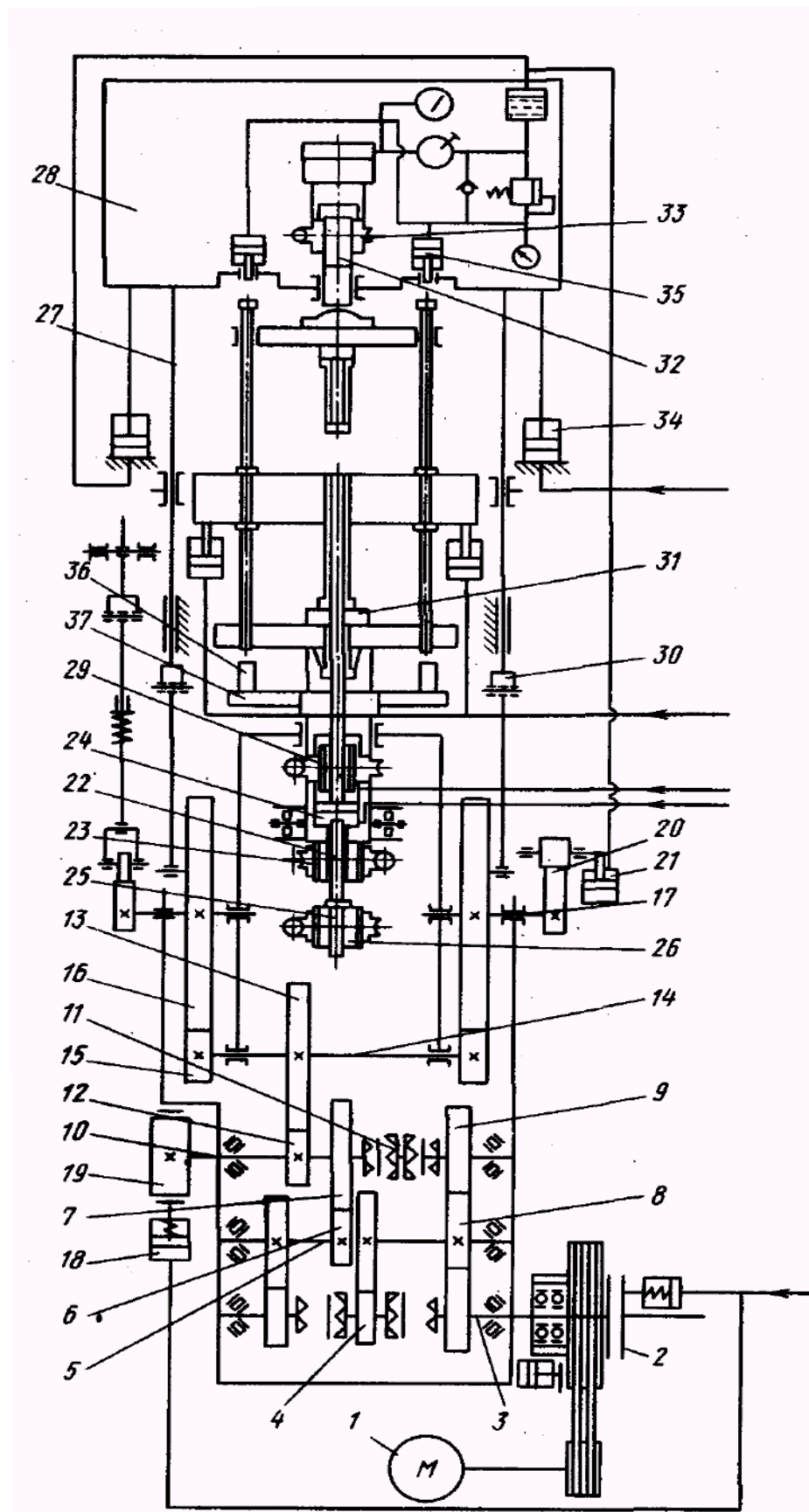


Рис. 2.4. Кинематическая схема пресса-автомата К8130 (обозначения в тексте)

Шатунно-ползунный механизм преобразует вращательное движение эксцентриков в возвратно-поступательное движение колонок автомата 27 и связанной с ним головки 28. Остановка всех движущихся частей машины осуществляется ленточным пневмофрикционным тормозом 18, действующим на шкив 19. Выталкиватель получает возвратно-поступательное перемещение от кулака 20, находящегося на правом конце главного вала 17, через двуплечий рычаг, который поднимает выталкиватель. Пневмоцилиндр 21 обеспечивает обратный ход выталкивателя. С помощью винта 22 и червячного колеса 23 регулируют величину хода выталкивателя. Внутри выталкивателя помещен пневматический цилиндр центрального стержня 24, совершающий возвратно-поступательное движение. Перемещением винта 25, который вращается в червячном колесе 26, можно отрегулировать нижний упор центрального стержня.

Узел регулирования верхнего упора центрального стержня размещен внутри выталкивателя. Перемещение упора осуществляется от винта 29, который вращается в червячном колесе 30 с помощью червяка, имеющего хвостовик ручного поворота. Узел регулирования положения нижнего пуансона размещен на нижней плите прессующего блока. Подъем пуансона осуществляется с помощью клина 31, который перемещается от хвостовика ручного поворота. Узел регулирования 24 положения верхнего пуансона размещен в прессующей головке. Перемещение пуансона осуществляется от винта 32, который вращается в червячном колесе 33.

Плавающая плита пресс-блка, в которой находится матрица, опирается на два пневмоцилиндра 34. Принудительный увод матрицы осуществляется от двух гидроцилиндров увода матрицы 35, размещенных в прессующей головке 28. Ограничитель плавания матрицы 36 расположен на станине пресса. Его регулирование осуществляется с помощью барабана 37.

Примером конструкции пресса-автомата отечественного производства, использующего как механический, так и гидравлический приводы, является пресс АПФ 160, кинематическая схема которого приведена на рис. 2.5. Пресс способен развить максимальное усилие 1600 кН, работает по схеме стягивания матрицы и предназначен для прессования изделий с 2...3 переходами по высоте. В его состав входят станина, привод, муфта-тормоз, вариатор, червячный редуктор, ползун, механизм дожима, механизм стягивания, механизм регулировки дозирующего устройства, механизм поворота шлицевой втулки, привод командоаппарата, упор механического механизма регулирования пути прессования.

Привод пресса расположен в нижней части и смонтирован внутри станины. Валы и оси привода расположены в задней внутренней части станины пресса. Привод имеет две различные функции: верхняя его часть

приводит в движение траверсу автомата, в которой смонтирован ползун, а нижняя часть приводит в качательное движение маятниковые рычаги с копирами, предназначенные для перемещения матричной плиты в режиме стягивания. Обе части привода приводятся во вращательное движение от вала шестерен 1. Верхняя часть привода состоит из вала 2 с расположенными на нем блоками из зубчатых колес 3. В средней части вала расположен кулак, предназначенный для поворота шлицевой втулки. На кривошипных пальцах 5, помещенных между зубчатыми колесами, размещены шатуны 6.

От верхнего привода работают механизм дозирования и привод командоаппарата. На зубчатых наружных колесах прикреплены копиры 4 для отвода и увода механического упора 20. Зубчатые колеса 3 через оси пальцев кривошипа 5 и шатунов 6 соединены одним шарниром с серьгой 7, а другим – с шатуном 8, который нижней частью присоединен с нижней приводной траверсой 9 посредством шарнира 24.

Нижняя часть привода состоит из блока зубчатых колес 10, расположенных на валу 26. Между зубчатыми колесами блока размещены кривошипные пальцы 11, на которых помещены шатуны 12, которые соединены осями 13 с маятниками 14, установленными на осях 15. На маятниках 14 установлены кулаки 16, а на осях 17 размещены упоры 18. Кулаки 16 могут поворачиваться и предназначены для увода матрицы при стягивании путем контактирования с поверхностью копира 19 механизма стягивания. Упоры 18 предназначены для фиксации механизма стягивания во время прессования порошка. Упор 20 служит для удержания рамы механизма стягивания при переходе работы автомата от прессования к стягиванию. Поскольку матрица блока инструментов удерживается постоянно в верхнем положении, то при освобождении рамы траверсой прессования рама вместе с матрицей под действием гидроцилиндров возвращается вверх, в исходное положение. Траверса представляет собой раму, состоящую из двух колонн 21, которые соединяют между собой нижнюю 9 и верхнюю 22 траверсы. Клин 23 механизма дожима контактирует во время прессования с наклонной плоскостью. Цилиндры подпора матрицы 25 предназначены для возврата ее в исходное положение.

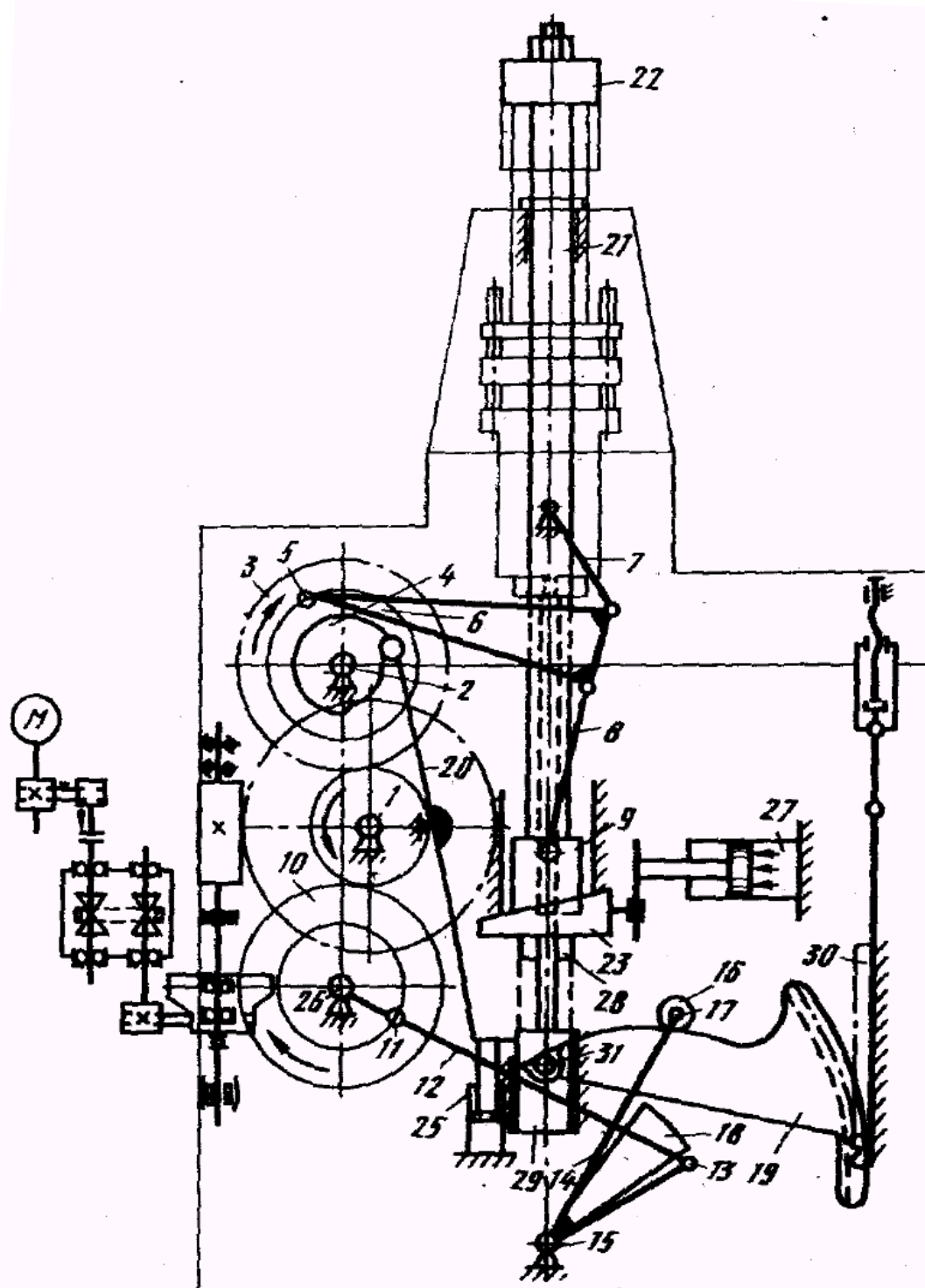


Рис. 2.5. Кинематическая схема порошкового пресса-автомата АПФ-160 (обозначения в тексте)

Механизм стягивания предназначен для извлечения спрессованного изделия из полости матрицы и установки матрицы в исходное положение.

Он выполнен в виде подвижной рамы, состоящей из нижней траверсы 29 и верхнего корпуса 28, которые соединены двумя колонками. Копиры 19 входят в зацепление с рейкой 30. После того как деталь спрессована, упоры 18 качающегося маятника привода выходят из контакта с цапфами 31 траверсы механизма стягивания, нижняя шлицевая втулка разворачивается кулаком привода, освобождая пазы для прохода верхней шлицевой втулки, кулаки 16 маятника привода находят на верхнюю поверхность копиров 19 и уводят копиры вместе с траверсой 29. Матрица перемещается вниз, и спрессованное изделие извлекается из матрицы. При уходе качающегося маятника привода с упорами и кулаком в обратном направлении механизм стягивания гидроцилиндрами 25 уводится вверх до упора. Цикл работы прессы повторяется.

Более подробно варианты оборудования и оснастки для формования порошковых материалов описаны в монографии Л.И. Клячко, А.М. Уманского и В.Н. Боброва [19].

Необходимое напряжение прессования p связано с плотностью ρ , которую необходимо получить в процессе формования. Существует ряд методик, по которым можно определить это давление. Например, предлагается отражать связь между достигаемой плотностью и давлением в виде зависимости логарифмических показателей $\lg(p)=f(\lg\beta)$, здесь $\beta = \rho_k/\rho_n$ – относительный объем; ρ_k ρ_n – плотности компактного металла и насыпная плотность, соответственно. Применительно к порошкам меди использование этой зависимости удобно, поскольку графически она имеет вид прямой линии.

По данным С.С. Кипарисова, Г.А. Либенсона [1], эта зависимость является линейно убывающей (рис. 2.6). Неудобство использования такого представления заключается в том, что напряжение является размерной величиной. Зависимости такого типа для других порошков могут оказаться нелинейными, например, для порошка олова выпуклость кривой ориентирована вверх, а для порошка вольфрама – вниз.

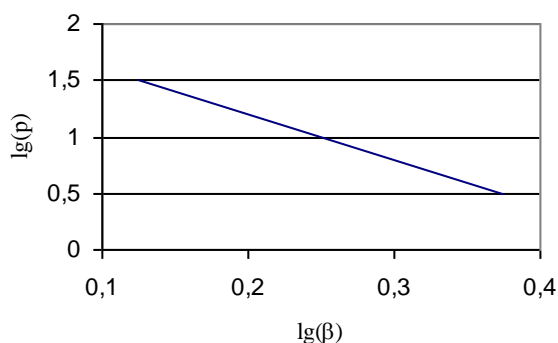


Рис. 2.6. Зависимость логарифма давления от логарифма относительного объема для порошка электролитической меди насыпной плотностью 1,42 г/см³

Следует отметить, что зависимость плотности от давления прессования для медных порошков в большой степени обусловлена видом порошка и способом его получения (рис. 2.7).

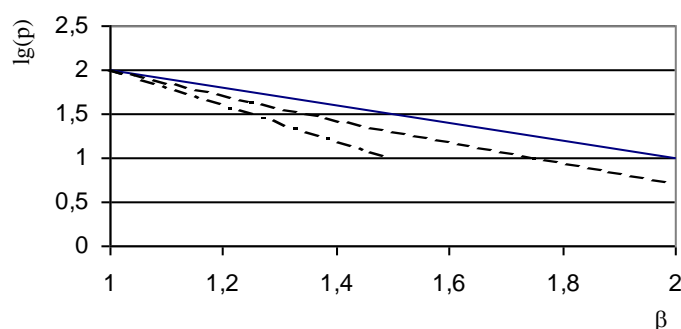


Рис. 2.7. Зависимость логарифма давления от относительного объема для порошков меди: сплошная линия – электролитическая медь насыпной плотностью $0,97 \text{ г/см}^3$; штриховая линия – то же, насыпной плотностью $1,5 \text{ г/см}^3$; штрих-пунктирная линия – гранулированная медь плотностью $4,5 \text{ г/см}^3$

Более точным является представление зависимости давления прессования в контейнере от плотности в виде табличных зависимостей (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Зависимость плотности (числитель, г/см^3) и относительной плотности (знаменатель, %) порошков меди и латуней от давления холодного прессования [2]

Давление прессования, МПа	Порошок				
	медь	латунь ПЛ62	латунь ПЛ68	латунь ПЛ80	латунь ПЛ65Н5
100	$\frac{5,00}{56,2}$	-	-	-	$\frac{5,24}{60,8}$
150	$\frac{5,40}{60,8}$	$\frac{4,90}{58,2}$	$\frac{4,88}{56,8}$	$\frac{5,73}{66,2}$	$\frac{5,42}{62,9}$
200	$\frac{5,65}{63,6}$	$\frac{5,08}{60,3}$	$\frac{5,18}{60,3}$	$\frac{5,93}{68,5}$	$\frac{5,61}{65,3}$
300	$\frac{6,30}{70,8}$	$\frac{5,48}{65,4}$	$\frac{5,73}{66,8}$	$\frac{6,38}{73,7}$	$\frac{6,10}{70,9}$
400	$\frac{6,74}{75,7}$	$\frac{5,82}{69,1}$	$\frac{6,11}{71,0}$	$\frac{6,71}{77,8}$	$\frac{6,43}{74,7}$
500	$\frac{7,06}{79,5}$	$\frac{6,16}{73,2}$	$\frac{6,35}{73,8}$	$\frac{7,00}{80,9}$	$\frac{6,64}{77,3}$
600	$\frac{7,38}{83,0}$	$\frac{6,37}{75,8}$	$\frac{6,64}{77,3}$	$\frac{7,17}{82,9}$	$\frac{6,87}{79,8}$
700	$\frac{7,53}{84,6}$	$\frac{6,61}{78,4}$	$\frac{6,81}{79,2}$	$\frac{7,34}{84,8}$	$\frac{7,03}{81,8}$

Ниже приведен пример использования табличных данных. Наиболее простой вариант расчета основан на пренебрежении потерь давления на трение. Допустим, что после операции прессования порошка меди в контейнере диаметром 10 мм необходимо получить плотность $7,53 \text{ г/см}^3$. При пренебрежении трением по таблице определяем необходимое давление прессования 700 МПа. Площадь поперечного сечения прессовки равна $\pi \cdot 10^2 / 4 = 78,5 \text{ мм}^2$, поэтому сила прессования составит величину $700 \cdot 78,5 = 54950 \text{ Н} = 54,95 \text{ кН}$. Для осуществления операции потребуется пресс номинальным усилием более 55 кН.

На интервале давлений 100...700 МПа с достоверностью $R^2 = 0,9915$ табличная функция уплотнения порошка меди аппроксимируется уравнением

$$\rho = -1,394 + 1,3592 \cdot \ln(p),$$

результаты аппроксимации показаны на рис. 2.8 в виде линии тренда. Следует подчеркнуть, что такая аппроксимация справедлива только в указанном диапазоне значений давлений и не справедлива при малых давлениях (вблизи нулевого значения).

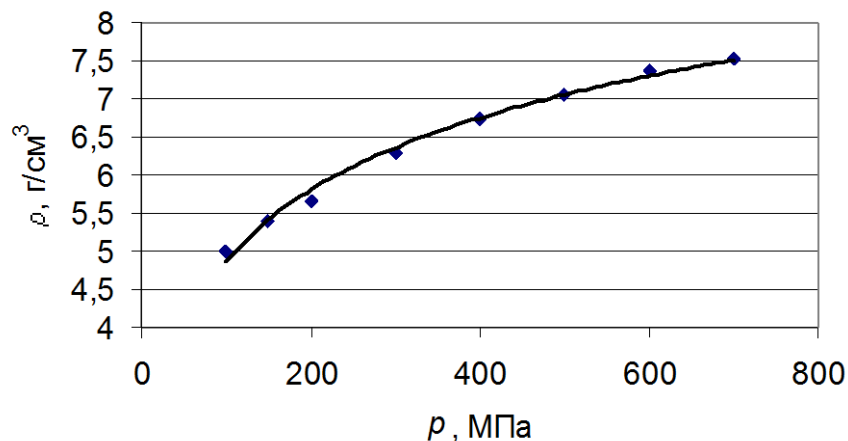


Рис. 2.8. Зависимость плотности порошковой меди от давления прессования (точки – опытные данные, линия – по уравнению регрессии)

Аналогичным образом аппроксимированы зависимости для порошковых латуней марок ПЛ (табл. 2.2 и рис. 2.9).

Таблица 2.2

Параметры аппроксимации компрессионных кривых порошковых латуней в интервале давлений 150...700 МПа

Марка латуни	Уравнение регрессии	A	B	R^2
ПЛ62	$\rho = A + B \cdot \ln(p)$	- 0,8588	1,1279	0,9863
ПЛ68		- 1,5238	1,2721	0,9987
ПЛ80		0,2642	1,0788	0,9961
ПЛ65Н5		- 0,0213	1,0749	0,9965

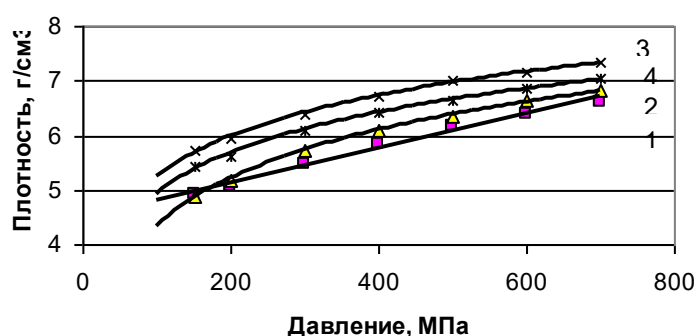


Рис. 2.9. Зависимость плотности порошковых латуней от давления прессования (точки – опытные данные, линия – по уравнению регрессии):
1 – ПЛ62; 2 – ПЛ68; 3 – ПЛ80; 4 – ПЛ65Н5

Маркировка двойных порошковых латуней соответствует маркировке медно-цинковых сплавов, полученных традиционным способом (плавкой и литем), только перед буквой Л проставляется буква П (порошковая). Как видно из графиков, положение линий относительно друг друга эквидистантно за исключением латуни ПЛ62, являющейся аналогом латуни Л63, которая из-за повышенного содержания цинка содержит β - фазу.

Выше был приведен вариант простого расчета энергосиловых параметров прессования без учета сложных явлений, сопровождающих процесс уплотнения. Более сложный расчет связан с учетом трения. Сила прессования $P_{пр}$ при уплотнении порошка в контейнере расходуется на преодоление силы пластической деформации порошка P_d и преодоление силы трения на контактной поверхности контейнера P_T :

$$P_{пр} = P_d + P_T .$$

При справедливости действия закона трения Амонтона на контактной поверхности контейнера можно оценить силу трения:

$$P_T = \pi \cdot D \cdot H \cdot \mu \cdot P_d \cdot k_{\text{бд}} / (\pi \cdot D^2 / 4) = 4 \cdot P_d \cdot \mu \cdot k_{\text{бд}} \cdot H / D ,$$

где μ – коэффициент трения; H и D – высота и диаметр; $k_{\text{бд}}$ – коэффициент бокового давления.

Таким образом, сила прессования определяется как

$$P_{\text{пр}} = P_d \cdot (1 + 4 \cdot \mu \cdot k_{\text{бд}} \cdot H / D).$$

Из последней формулы следует, что если затраты на трение будут равны нулю, то сила и напряжение прессования окажутся меньше. В некоторых источниках информации силу P_d было предложено называть силой «чистого» прессования. Соответственно было введено понятие напряжения «чистого» прессования, для прессования в цилиндрическом контейнере $\sigma_d = P_d / (\pi \cdot D^2 / 4)$.

Как видно из этих формул, падение напряжения по высоте контейнера зависит от коэффициента бокового давления, который вводится как отношение радиального напряжения к осевому давлению при сжатии порошка в закрытом контейнере. Этот коэффициент зависит от материала порошка, а при уточненном подходе – от способа его получения и плотности или напряжения прессования. Рекомендованное значение $k_{\text{бд}}$ для медного порошка в ненагартованном состоянии равно 0,54, хотя может быть уточнено в зависимости от конкретных условий деформации.

Коэффициент трения μ (определяемый по закону Амонтона) зависит от нормального давления (рис. 2.10).

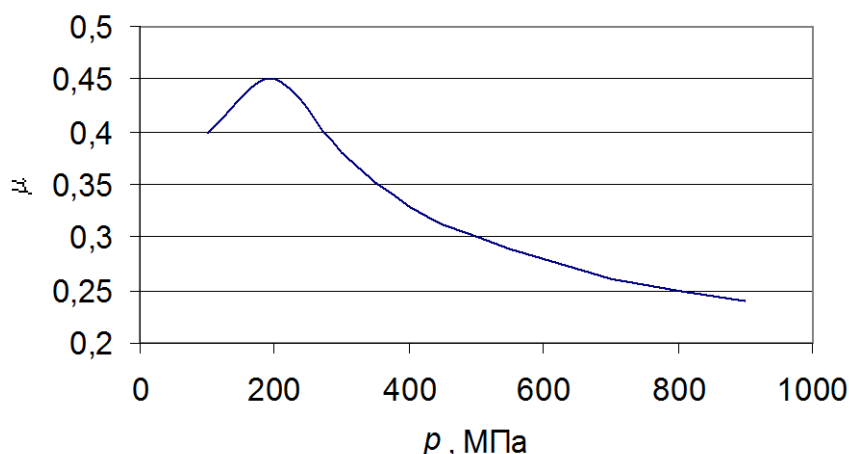


Рис. 2.10. Зависимость коэффициента трения от давления прессования для медного электролитического порошка (по данным С.С.Кипарисова, Г.А.Либенсона)

Поскольку давление по ходу уплотнения порошка непрерывно увеличивается, то следует назначить, в какой момент прессования определяется коэффициент трения. Обычно определяют давление прессования в конечный момент времени, судя по графику, скорее всего, значение коэффициента трения окажется ниже его максимального значения на каком-то этапе процесса.

Более простой подход к выбору давления прессования объявлен ассоциацией Copper Development Association. При формовании изделий из порошка чистой меди может применяться относительно невысокий уровень напряжений; для порошковых медных сплавов рекомендованные величины давлений приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Параметры формования изделий из меди и ее сплавов, рекомендованные ассоциацией Copper Development Association

Тип материала	Компактирующее давление, МПа	Коэффициент уплотнения
Порошковые латуни	414...690	2,4...2,6:1
Бронзовые подшипники	207...276	2,5...2,7:1
Медно-графитовые детали	345...414	2,0...3,0:1
Медные детали	207...248	2,6...2,8:1

Ограничение верхнего предела напряжения связано с необходимостью удаления через остаточные поры газов и паров воды, которые образуются в результате восстановления оксидов при проведении операции спекания. Чрезмерное уплотнение может задерживать процессы спекания в центре заготовки, что вызывает понижение электропроводности и прочности.

Способ прессования порошка в закрытом контейнере может быть использован в варианте горячего прессования. Зависимость плотности порошков различных медных сплавов от параметров прессования представлена в табл. 2.4.

Отдельным и специальным вопросом является влияние скорости нагружения на параметры процесса горячего уплотнения и свойства получаемых материалов. При брикетировании пористой среды на явления рекристаллизации и нагартовки накладывается эффект дросселирования газа, заключенного в порах заготовки.

Таблица 2.4

Влияние параметров горячего прессования на плотность изделий
из медных сплавов[5]

Материал	Давление, МПа	t, °C	Время выдержки, мин	Плотность, г/см ³	Относи- тельная плотность, %
Бронза БрО10	278	300	2,5	7,03	79,8
	400	300	2,5	8,40	95,2
	790	300	2,5	8,80	99,8
Латунь Л65	157	300	5,0	7,00	82,6
	278	300	5,0	7,10	83,8
	400	300	5,0	7,50	88,5
	790	300	5,0	8,00	94,4
	157	500	5,0	8,10	95,6
	278	500	5,0	8,25	97,4
	400	500	5,0	8,35	98,4
	790	500	5,0	8,45	99,8
Латунь Л60	790	500	5,0	8,38	99,7
	790	700	5,0	8,38	99,7
Латунь Л55	790	300	5,0	8,19	98,7
	400	500	5,0	8,24	99,3
	790	500	5,0	8,30	100
Медь	11	800	5,0	8,38	93,1
	400	200	5,0	8,20	92,0
	400	300	5,0	8,40	94,5
	400	400	5,0	8,63	96,8
	400	500	5,0	8,75	98,5
	790	200	5,0	8,77	98,3
	790	300	5,0	8,90	99,6
	790	500	5,0	8,91	99,7
	1575	250	5,0	8,37	94,3
	1575	300	5,0	8,37	99,3
	1575	400	5,0	8,89	99,6

Исследования, проведенные в Восточно-украинском национальном университете под руководством Л.А. Рябичевой, показали, что в целом с повышением температуры деформации при осадке заготовок пористой меди марки ПМС-В пластические свойства возрастают, но в интервале температур 300...400°C наблюдается провал пластичности. Опыты проводились с использованием невысоких образцов с отношением высоты к диаметру 0,6 и пористостью 20 %. Относительное обжатие составляло

$\epsilon_p = 38 \%$, до 200°C происходил рост до 43% , затем снижение до 37% , а затем рост до 47% при температуре 600°C . Зависимость плотности от температуры подчиняется этой же закономерности. Эти эксперименты проводили на винтовом и гидравлическом прессах, позволяющих осуществлять деформацию в разных скоростных условиях. Выявлено, что при прочих равных условиях с повышением скорости деформации плотность увеличивается, что можно объяснить различиями в формоизменении образцов.

В том случае, если после операции формования из порошка изделий следует операция допрессовки, следует учесть свойства не порошка, а порошковых спеченных материалов (табл. 2.5, 2.6).

Таблица 2.5

Физико-механические свойства порошковых бронз

Марка материала	σ_b , МПа, не менее	δ , %, не менее	ψ , %, не менее	E , ГПа, не менее	HB , МПа
БрПО10-2	100	8	15	80	600...800
БрПО10-3	200	12	25	120	800...900
БрПО10-4	250	15	30	150	900...1000
БрПО10П-2	80	3	3	40	400...550
БрПО10П-3	120	5	5	60	550...700
БрПО10П-4	200	8	8	80	700...900
БрПО10Ц3-3	250	12	15	100	700...900
БрПО10Ц3-4	300	15	18	150	900...1100
<i>Примечание:</i> П – порошковая; О – олово; Ц – цинк, цифра после дефиса в марке материала – группа пористости					

Таблица 2.6

Физико-механические свойства порошковых латуней

Марка материала	σ_b , МПа, не менее	δ , %, не менее	ψ , %, не менее	E , ГПа, не менее	HB , МПа
1	2	3	4	5	6
ЛП58Г2-2	80	5	10	150	400...500
ЛП58Г2-3	120	10	20	250	500...650
ЛП58Г2-4	200	15	30	400	650...750
ЛП59-2	100	5	10	200	380...500
ЛП59-3	150	10	20	300	500...650
ЛП59-4	260	15	30	500	650...750

Продолжение табл.2.6

1	2	3	4	5	6
ЛП59Св-2	120	5	10	200	400...500
ЛП59Св-3	200	10	20	300	500...650
ЛП59Св-4	250	15	30	450	650...800
ЛП62-2	80	8	10	100	400...500
ЛП62-3	120	12	20	200	500...700
ЛП62-4	200	20	30	350	700...850
ЛП65Н5-2	100	8	15	150	350...400
ЛП65Н5-3	180	15	25	250	400...600
ЛП65Н5-4	250	20	40	400	600...800
ЛП68-2	80	8	15	150	600...800
ЛП68-3	120	12	20	250	500...700
ЛП68-4	220	20	35	400	700...850
ЛП80-2	100	6	15	80	400...500
ЛП80-3	150	10	20	150	500...700
ЛП80-4	250	20	35	300	700...850
ЛП90-2	100	10	20	120	350...500
ЛП80-3	150	15	30	250	500...700
ЛП80-4	250	30	45	400	700...850
<i>Примечание:</i> Г – марганец; Н – никель; Св – свинец; цифра после дефиса в марке материала – группа пористости					

Группы пористости для меди и медных сплавов (табл. 2.7) установлены для назначения параметров технологии изготовления в зависимости от плотности. Пористость определена из расчета плотности компактного материала $8,9 \text{ г/см}^3$, характерной для меди в состоянии литья и последующей обработки давлением.

Таблица 2.7

Группы пористости для порошковых материалов на основе меди

Группа	Пористость, %	Плотность, г/см^3
1	25...16	6,7...7,5
2	15...10	7,6...8,0
3	9...2	8,1...8,6
4	<2	>8,6

Оборудование, предназначенное для уплотнения порошка и придания ему формы готовых деталей, в производственных условиях объединяют в участки, входящие в состав цехов.

На рис. 2.11 приведен внешний вид участка прессования фирмы ООО «Димитровградский завод порошковой металлургии».



Рис. 2.11. Внешний вид участка прессования ООО «Димитровградский завод порошковой металлургии ОАО «Димитровградский автоагрегатный завод»»

В свою очередь, в состав цеха или завода могут входить участки подготовки сырья, спекания, калибрования и другие подразделения.

ОПИСАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОРОШКОВОГО ТЕЛА ПРИ УПЛОТНЕНИИ

3.1. Общие подходы к решению краевой задачи

Деформация металлических порошков и гранул, стружки и других некомпактных образований характеризуется некоторыми специфическими чертами. К ним можно отнести наклеп частиц металла, сварку отдельных частиц при приложении определенного давления и разрушение этих контактов при приложении напряжений растяжения и сдвига, существенно иной характер внешнего и внутреннего трения. В связи с этим математическое описание течения металлических сжимаемых материалов должно учитывать эти отличия.

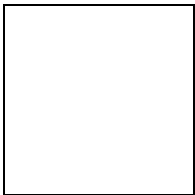
К настоящему времени сложилось два основных направления теоретических исследований процессов обработки порошкообразных металлических сред. Сторонники одного из них исходят из представлений о дискретном строении пористых сред, другого – из гипотезы сплошности уплотняемого тела. В первом случае предполагается, что деформируемая среда является стохастической совокупностью твердых частиц, при контактировании которых прочность межчастичной связи, обусловленная действием электростатических, фрикционных и других сил, значительно меньше прочности самих частиц.

За основу принимается положение о том, что передача напряжений в такой среде осуществляется с помощью контактов, а сама среда является дискретной, т.е. состоит из отдельных частиц с четко выраженными границами между ними. Отдельные частицы образуют несущий некоторую нагрузку пространственный каркас. При приложении деформирующей силы растут площадки контакта между частицами, изменяется их форма, происходит взаимное перемещение. Теории, основанные на изучении контактных явлений всей совокупности частиц, образующих деформируемый каркас, претендуют на большую математическую точность и физическую обоснованность решения, нежели теории, основанные на гипотезе сплошности. Однако такой подход приводит к слишком громоздкому математическому аппарату, даже в случае решения относительно простых задач.

Именно поэтому в последнее время все большее теоретическое обоснование получает подход, связанный с наделением порошковой среды свойством сплошности, что является определенной абстракцией, но предоставляет возможность применить для анализа хорошо разработанный математический аппарат механики сплошных сред.

Именно такой подход будет применен в дальнейшем.

Запишем систему дифференциальных уравнений теории пластичности для сжимаемой среды в приращениях перемещений. Тензор

напряжений  симметричен и должен удовлетворять трем дифференциальным уравнениям равновесия:

$$\sigma_{ij,j} = 0.$$

Тензоры приращений деформации $d\varepsilon_{ij}$ и приращений перемещений du_i связывают кинематические соотношения

$$d\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(du_{i,j} + du_{j,i}).$$

Пластическое течение материала должно быть таким, чтобы удовлетворять уравнение неразрывности или сохранения массы

$$d\rho + \rho \cdot d\varepsilon = 0.$$

Компоненты тензора напряжений σ_{ij} можно представить в виде суммы компонентов девиатора s_{ij} и шарового тензора σ

$$\sigma_{ij} = s_{ij} + \sigma \cdot \delta_{ij},$$

где δ_{ij} – симметричный символ Кронекера.

Аналогично можно представить компоненты тензора приращений деформаций суммой компонентов девиатора $d\varepsilon_{ij}$ и шарового тензора, включающего величину приращения деформации объема

$$d\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij} + \frac{1}{3}d\varepsilon \cdot \delta_{ij}.$$

Система из 10 уравнений содержит 16 неизвестных σ_{ij} , ρ , du_i , $d\varepsilon_{ij}$, поэтому является незамкнутой. Будем считать обрабатываемый материал изотропным в течение всего периода формообразования. Тогда, используя гипотезу о коаксиальности и пропорциональности девиаторов напряжений и скорости деформации, запишем

$$s_{ij} = \psi \cdot d\varepsilon_{ij}.$$

С учетом определений интенсивности касательных напряжений T и интенсивности приращения сдвиговых деформаций $d\Lambda$

$$T = +\sqrt{\frac{1}{2} \cdot s_{ij} \cdot s_{ij}} ;$$

$$d\Lambda = +\sqrt{2 \cdot d\varepsilon_{ij} \cdot d\varepsilon_{ij}} ;$$

уравнения связи преобразуются к виду

$$\sigma_{ij} - \sigma = \frac{2T}{d\Lambda} \cdot \left(d\varepsilon_{ij} - \frac{1}{3} d\varepsilon \right).$$

При известной зависимости $T=T(\Lambda)$ последнее выражение добавляет шесть уравнений, причем можно показать, что независимых из них лишь пять. Для замыкания системы следует использовать еще одно уравнение, запишем его так:

$$\sigma = \sigma(\varepsilon).$$

Таким образом, для решения полной системы дифференциальных уравнений теории пластичности в случае холодной деформации изотропного сжимаемого тела необходимо наличие физических уравнений связи между напряжениями и деформациями в виде

$$T = T(\Lambda); \quad \sigma = \sigma(\varepsilon).$$

Следует отметить, что от вида физических уравнений существенно зависит единственность решения краевых задач. Наряду с указанными аргументами T и σ могут зависеть и от иных инвариантных характеристик материала и процесса.

Обычно некоторому инварианту, характеризующему напряженное состояние, ставят в соответствие некоторую механическую характеристику деформируемого материала. Такой характеристикой в случае компактного материала является сопротивление деформации σ_s . Некоторые исследователи пытаются применить этот показатель и к пористым средам, вводя понятие эффективного сечения заготовки.

Существенное влияние скорости деформации на сопротивление деформации пористых сред отмечается во многих работах. В случае горячей деформации металлических некомпактных сред явление изменения сопротивления деформации объясняется протеканием

конкурирующих процессов, включающих упрочнение (наклеп) и рекристаллизацию металлической матрицы.

В случае холодной деформации пористых металлических сред, а также материалов, не подвергающихся наклепу, влияние скорости обусловлено наличием процессов фильтрации и демпфирования заземленного в порах материала воздуха.

Эффект скоростного упрочнения можно учитывать скоростью относительного изменения объема ξ и интенсивностью скорости деформации сдвига H . Эти величины представляют собой с точностью до постоянных множителей соответственно первый и второй инварианты тензора скорости деформации.

Очевидно, как и в случае компактного материала, наклеп можно оценить степенью деформации сдвига Λ как накопленной в течение некоторого промежутка времени t частицей материала пластической деформацией, которая подсчитывается вдоль траектории движения частицы или при помощи интегрирования, или при использовании принципа аддитивности при n количествах элементарных нагружений с величиной приращений $\Delta\Lambda_i$:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^n \Delta\Lambda_i .$$

Но, в отличие от компактного тела, не во всех случаях удастся оценить наклеп пористого материала степенью деформации сдвига Λ . Так, например, для всесторонней деформации сжатия $H = 0$ и поэтому оказывается, что $\Lambda = 0$. Между тем при всестороннем сжатии пористых тел пластическая деформация имеет место и сопровождается наклепом, что отмечают многие исследователи. В этом случае пластическую деформацию можно оценить степенью деформации объема ε по формуле или, используя принцип аддитивности к величине приращений $\Delta\varepsilon_i$:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \Delta\varepsilon_i .$$

Вместо параметра плотности иногда используется пористость материала Π , связанная с плотностью соотношением

$$\Pi = 1 - \frac{\rho}{\rho_k} ,$$

где ρ_k – плотность компактного материала.

3.2. Анализ схемы прессования порошка в закрытом контейнере

С указанных выше позиций проанализируем схему прессования некомпактного материала в закрытом контейнере с гладкими стенками (рис. 3.1). Рассмотрим соответствующую краевую задачу.

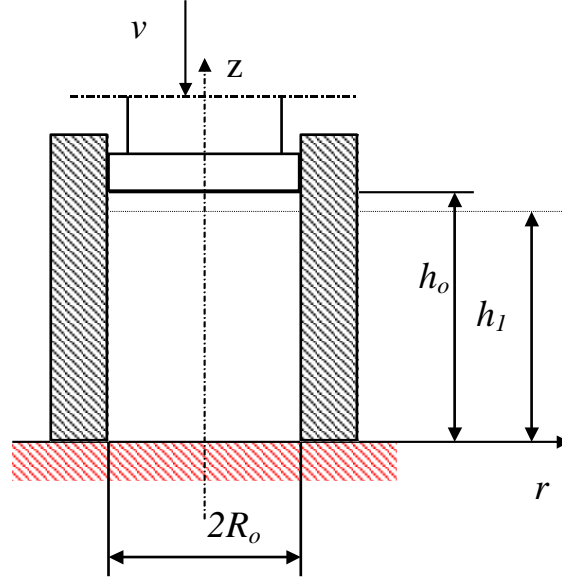


Рис. 3.1. Схема прессования пористой заготовки в закрытом контейнере

В системе цилиндрических координат r, φ, z запишем поле скоростей v_i течения материала. Для однородной осесимметричной деформации при использовании граничных условий

$$v_r|_{z=0} = 0; v_z|_{z=h} = -v; v_r|_{r=0} = 0; v_r|_{z=R} = 0$$

оно будет таким:

$$v_z = -v \frac{z}{h}; \quad v_r = 0,$$

где v — скорость перемещения активного пуансона.

Запишем компоненты тензора скорости деформации

$$\begin{aligned} \xi_{rr} &= \frac{\partial v_r}{\partial r} = 0; & \xi_{zz} &= \frac{\partial v_z}{\partial z} = -\frac{v}{h}; \\ \xi_{\varphi\varphi} &= \frac{v_r}{r} = 0; & \xi_{rz} &= \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) = 0; \end{aligned}$$

скорость объемной деформации

$$\xi = \xi_{rr} + \xi_{zz} + \xi_{\varphi\varphi} = \xi_{zz}$$

и интенсивность скорости деформации сдвига

$$H = +\sqrt{\frac{2}{3} \cdot [(\xi_{rr} - \xi_{\varphi\varphi})^2 + (\xi_{\varphi\varphi} - \xi_{zz})^2 + (\xi_{zz} - \xi_{rr})^2]} + 4 \cdot \xi_{rz}^2 = \frac{2}{\sqrt{3}} |-\xi_{zz}|.$$

Поскольку в любой момент времени величина ξ_{zz} отрицательна, то знак модуля может быть снят, и тогда степень деформации сдвига будет равна

$$\Lambda = \int_0^t H d\tau = \frac{2}{\sqrt{3}} \int_0^t \xi_{zz} d\tau,$$

где t – время деформации.

Принимая во внимание, что $d\tau = \frac{dh}{v}$, получим

$$\Lambda = \int_0^t H d\tau = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{h_0}{h_1},$$

а степень объемной деформации

$$\varepsilon = \int_0^t \xi_{zz} d\tau = 2 \cdot \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = -\ln \frac{h_0}{h_1},$$

где h_0 и h_1 – высоты образца до и после осадки соответственно.

Отметим, что интегрирование дифференциального условия неразрывности для сжимаемой среды приводит к установлению связи между начальной ρ_0 , текущей плотностью ρ и степенью объемной деформации ε :

$$\rho = \rho_0 \cdot \exp(-\varepsilon).$$

Последняя формула позволяет по известному полю ε определить распределение плотности после деформации. Как это видно из приведенных выше соотношений, при однородной деформации плотность по сечению заготовки оказывается постоянной, поскольку ε не зависит от координат.

Напряженное состояние описывается с помощью компонентов тензора напряжений σ_{ij} , интенсивности касательных напряжений T и среднего напряжения σ следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr} = \sigma_{\varphi\varphi} = \chi \sigma_{zz}; \quad \sigma_{r\varphi} = \sigma_{\varphi z} = \sigma_{rz} = 0; \\ T = \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi})^2 + (\sigma_{\varphi\varphi} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{rr})^2} = \frac{1}{\sqrt{3}} |\sigma_{zz}| \cdot (1 - \chi) \\ \sigma = \frac{1}{3} (\sigma_{zz} + \sigma_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi}) = \frac{1}{3} \sigma_{zz} (1 + 2\chi), \end{aligned}$$

где χ – коэффициент бокового давления ($\chi < 1$).

Выше рассмотрен случай однородного распределения деформаций и напряжений по объему уплотняемой заготовки. Однако на практике из-за влияния напряжений трения распределение и деформаций, и напряжений становится неоднородным. Степень этой неоднородности зависит от конфигурации очага деформации и от величины напряжений трения.

Рассмотрим более сложный случай неоднородной деформации: напряжения трения действуют на боковых стенках контейнера.

3.3. Вариационная задача оценки влияния трения на величину жесткой зоны при прессовании порошковой заготовки в контейнере

Жесткие зоны при прессовании порошковых заготовок возникают подобно областям затрудненной деформации при осадке компактных заготовок на шероховатых плитах, и причиной их образования являются напряжения трения на контактных поверхностях. Анализ причин возникновения этих зон позволяет правильно назначить параметры заготовки, характер граничных условий.

Рассмотрим в цилиндрической системе координат $r\phi z$ деформацию пористой заготовки заданной высоты h в контейнере с известным радиусом R (рис. 3.2). Перемещение пуансона 1 на величину Δh вызывает

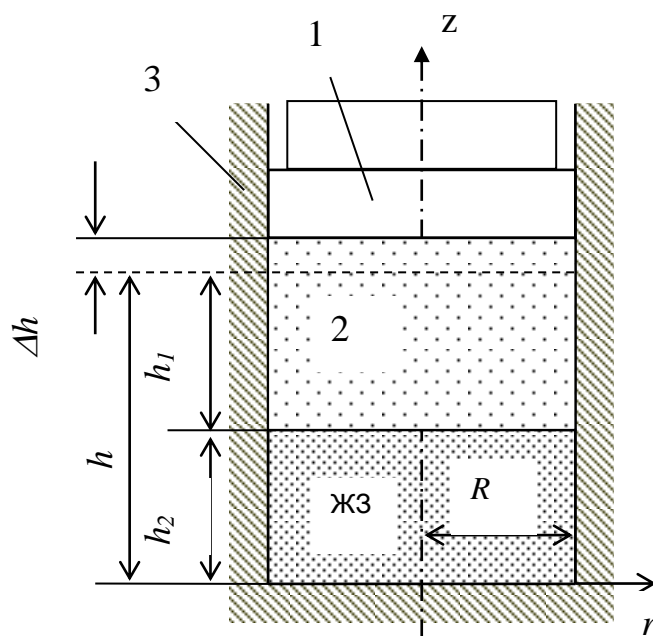


Рис. 3.2. Схема уплотнения пористой заготовки в контейнере и образования жесткой зоны (ЖЗ)

уплотнение заготовки 2, помещенной в контейнер 3. Однако вследствие действующих на поверхности контейнера напряжений трения возможна ситуация, когда нижняя часть заготовки высотой h_2 не будет подвергаться

уплотнению (останется жесткой). Важно определить h_2 (или высоту пластической зоны h_1) в зависимости от параметров процесса и характеристик деформируемого материала.

В этой задаче, решение которой осуществим с максимальной простотой, на границе жесткой и пластической зон примем вертикальную составляющую перемещения материала непрерывной:

$$u_z|_{z=h_2} = 0,$$

а на контакте с пуансоном она задана условием задачи

$$u_z|_{z=h} = -\Delta h.$$

Этим граничным условиям удовлетворяет следующая подходящая функция:

$$u_z = -\Delta h \cdot \frac{z - h_2}{h - h_2},$$

здесь h_2 – неизвестный (варьируемый) параметр с областью определения $0 \leq h_2 \leq h$. Вторую компоненту u_r кинематически возможного перемещения, удовлетворяя граничное условие $u_r|_{r=R} = 0$, примем $u_r = 0$. Определим компоненты тензора деформаций

$$\varepsilon_{rr} = \varepsilon_{\varphi\varphi} = \varepsilon_{rz} = 0; \quad \varepsilon_{zz} = -\frac{\Delta h}{h - h_2},$$

а также степень деформации сдвига

$$\Lambda = \frac{2}{\sqrt{3}} |\varepsilon_{zz}| = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\Delta h}{h - h_2} \quad (\text{при } h_2 < h)$$

и степень деформации объема

$$\varepsilon = -\frac{\Delta h}{h - h_2} \quad (\text{при } h_2 < h).$$

Таким образом, удалось описать деформированное состояние с помощью одного варьируемого параметра h_2 , для его определения воспользуемся принципом возможных изменений деформированного состояния для сжимаемой среды и достаточно медленного пластического течения. Сформулируем функционал для этого случая деформации:

$$J = \int_0^{2\pi} \int_{h_2}^h \int_0^R \left[\int_0^{\Lambda'} T(\Lambda) d\Lambda \right] r dr dz d\varphi + \int_0^{2\pi} \int_{h_2}^h \int_0^R \left[\int_0^{\varepsilon'} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \right] r dr dz d\varphi + \int_0^{2\pi} \int_{h_2}^h R \tau u_s' dz d\varphi,$$

где $T(\Lambda)$ и $\sigma(\varepsilon)$ – зависимости интенсивности касательных напряжений от степени деформации сдвига и среднего нормального напряжения от степени объемной деформации; τ – напряжение трения на контактной поверхности, где реализуется скольжение; $u_s = u_z|_{r=R}$ – перемещение (оно же и скольжение) на контактной поверхности.

Штрихами отмечены величины, подвергающиеся варьированию. Все перемещения предполагаются достаточно малыми, чтобы была справедлива геометрически линейная теория. Вообще говоря, здесь рассматривается малый отрезок времени Δt , а перемещения представляют собой малые величины, т.е. являются приращениями перемещений.

Разложим функции $T(\Lambda)$ и $\sigma(\varepsilon)$ в ряд Тейлора, ограничившись двумя членами ряда:

$$T = \tau_s + \alpha \cdot \Lambda;$$

$$\sigma = \sigma_0 + \beta \cdot \varepsilon;$$

где $\alpha = \frac{\partial T}{\partial \Lambda}|_{\Lambda=0}$; $\beta = \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon}|_{\varepsilon=0}$; τ_s и σ_0 – значения T и σ , предопределенные историей деформации на предыдущем этапе деформирования к началу отрезка времени Δt .

С учетом этого интегралы в квадратных скобках вариационного уравнения примут вид

$$\int_0^{\Lambda'} (\tau_s + \alpha \Lambda) \cdot d\Lambda = \tau_s \cdot \Lambda' + \frac{\alpha (\Lambda')^2}{2};$$

$$\int_0^{\varepsilon'} (\sigma_0 + \beta \cdot \varepsilon) \cdot d\varepsilon = \sigma_0 \cdot \varepsilon' + \frac{\beta (\varepsilon')^2}{2}.$$

Вычислим объемные интегралы (обозначены J_1 и J_2):

$$\frac{\partial J_1}{\partial h_2} = \pi \cdot R^2 \left[\tau_s \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{\Delta h}{h - h_2} + \frac{4}{3} \alpha \frac{\Delta h^2}{(h - h_2)^2} \right];$$

$$\frac{\partial J_2}{\partial h_2} = \pi \cdot R^2 \left[-\sigma_0 \frac{\Delta h}{h - h_2} + \beta \frac{\Delta h^2}{(h - h_2)^2} \right].$$

Аналогично для поверхностного интеграла

$$\frac{\partial J_3}{\partial h_2} = 2\pi R \tau \int_{h_2}^h \frac{\partial}{\partial h_2} \left(-\Delta h \cdot \frac{z - h_2}{h - h_2} \right) dz = -\Delta h \cdot \pi R \tau.$$

Можно решить полученное вариационное уравнение, воспользовавшись пошаговой процедурой с определением на каждом шаге механических характеристик деформируемого материала. Рассмотрим более простое решение. В частном случае для $\alpha=0$, $\beta=0$ вариационное уравнение примет вид

$$\frac{\partial J}{\partial h_2} = \pi \cdot R^2 \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \tau_s \cdot \frac{\Delta h}{h - h_2} - \sigma_0 \frac{\Delta h}{h - h_2} - \tau \frac{\Delta h}{R} \right] = 0,$$

после алгебраических преобразований получим

$$\frac{h_2}{h} = 1 - \frac{R}{h} \cdot \frac{\frac{2}{\sqrt{3}} \tau_s - \sigma_0}{\tau}$$

для всех неотрицательных h_2 (при $h_2 < 0$ пластической деформацией охвачена вся заготовка.)

Следовательно, относительная глубина проникновения деформации тем больше, чем ниже цилиндр и чем меньше напряжения трения на контактной поверхности, что не противоречит здравому смыслу. Параметры τ_s и σ_0 характеризуют интенсивность упрочнения материала соответственно в функции сдвиговых и объемных деформаций на каждом этапе уплотнения заготовки. Из последней формулы следует, что для материалов, интенсивно упрочняющихся при наложении как сдвиговых, так и объемных деформаций, глубина проникновения деформаций больше, чем для материалов, упрочняющихся слабо.

Связи между τ_s и σ_0 и параметрами процесса при деформации некомпактной среды в контейнере подчиняются зависимостям

$$\tau_s = \frac{1}{\sqrt{3}} (1 - \chi) |\sigma_{zz}| = \frac{1}{\sqrt{3}} (1 - \chi) \frac{P}{F};$$

$$\sigma_0 = \frac{1 + 2\chi}{3} \sigma_{zz} = -\frac{1 + 2\chi}{3} \frac{P}{F},$$

где χ – коэффициент бокового давления; σ_{zz} – осевое напряжение; P и F – сила деформации и площадь ее приложения соответственно.

Подставив эти выражения в формулу для определения высоты жесткой зоны, получим

$$\frac{h_2}{h} = 1 - \frac{1}{3} \frac{R}{h} \cdot \frac{2(1 - \chi) + 1 + 2\chi}{\tau} \sigma_{zz} = 1 - \frac{R}{h} \frac{\sigma_{zz}}{\tau}.$$

Последнее выражение позволяет применить для анализа любой закон трения. Известно, что при относительно малых нормальных напряжениях (соизмеримых с τ_s) удовлетворительные результаты дает применение

закона Амонтона-Кулона, а при больших нормальных напряжениях – закон Зибеля. Возможны и иные варианты задания этой функции, на что указывает нелинейный характер зависимости коэффициента трения от нормального напряжения.

Для сравнения с литературными данными воспользуемся известной зависимостью, характеризующей падение осевого напряжения σ_{zz} по высоте заготовки из пористого материала:

$$\frac{\Delta\sigma_{zz}}{\sigma_{zz}} = 2\chi\mu \frac{h}{R} \left(1 - \frac{z}{h}\right),$$

где μ – коэффициент трения по Кулону на стенках контейнера.

Примем, что высота жесткой зоны будет соответствовать координате $z = h_2$, при которой напряжения σ_{zz} уменьшатся до нулевого значения, т.е. выполнится условие $\Delta\sigma_{zz} = \sigma_{zz}$, в результате из последней формулы получим уравнение

$$\frac{\Delta\sigma_{zz}}{\sigma_{zz}} \Big|_{z=h_2} = 2\chi\mu \frac{h}{R} \left(1 - \frac{h_2}{h}\right) = 1,$$

откуда найдем высоту жесткой зоны

$$\frac{h_2}{h} = 1 - \frac{R}{h} \frac{1}{2\chi\mu}.$$

Очевидна схожесть с точностью до постоянного множителя полученной записи условия существования жесткой зоны с известным решением.

В соответствии с полученным решением построен график зависимости относительной высоты жесткой зоны от исходных параметров (рис.3.3). Из него видно, что чем больше коэффициент бокового давления, тем выше опасность появления жесткой зоны.

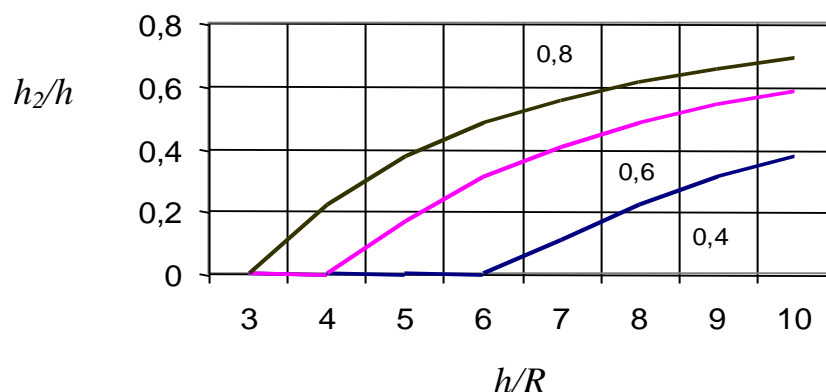


Рис. 3.3. Зависимость относительной высоты жесткой зоны от отношения h/R и коэффициента χ (числа при кривых) при $\mu = 0,4$

Следует отметить, что уплотнение некомпактного материала в замкнутом контейнере является нестационарным процессом. Поэтому в

ходе процесса соотношение между высотой и диаметром и другие параметры непрерывно изменяются. Поскольку параметр h/R при перемещении активного пуансона уменьшается, то в соответствии с графиком уменьшается и h_2/h . Однако многочисленные литературные данные указывают на то, что в то же время, во-первых, увеличивается коэффициент бокового давления, а во-вторых, изменяется коэффициент трения, причем для разных материалов по-разному. Именно поэтому ситуация должна быть подвергнута контролю на каждом шаге.

Значимость полученного решения заключается в следующем. По мнению Б.А. Друянова, процесс уплотнения в закрытом контейнере имеет волнообразный характер и состоит из непрерывного образования пластических и жестких зон. Процесс уплотнения начинается с зоны, расположенной непосредственно под активным пуансоном, остальная часть материала представляет упруго сжатую зону. По мере уплотнения и упрочнения пластической зоны деформация распространяется вглубь, захватывая новые области. В процесс вмешиваются напряжения трения на контактной поверхности, задание которых различно на различных ее участках, что накладывает свой отпечаток на неравномерное распространение деформации.

Косвенным подтверждением этой теории является процесс «дробления» деформации, часто наблюдаемый при уплотнении непластифицированных порошковых смесей. Равномерное перемещение активной плиты пресса при достижении некоторой плотности порошка приобретает скачкообразный характер и сопровождается резкими динамическими ударами. Такое явление, возникающее именно при использовании порошков, обладающих высокими коэффициентами внешнего и межчастичного трения, а также при высоких очагах деформации, может быть объяснено дискретным созданием и разрушением жестких зон.

3.4. Анализ напряжений при прессовании пористой заготовки в контейнере

Рассмотрим теперь напряженное состояние при прессовании пористой заготовки в контейнере при условии, что весь объем ее охвачен пластической деформацией. Решение осуществим вариационным методом, развитым в трудах чл.-корр. РАН В.Л. Колмогорова, с минимальным количеством варьируемых параметров. Для осесимметричного случая характерно наличие четырех компонент тензора напряжений: σ_{rr} , $\sigma_{\varphi\varphi}$, σ_{zz} , σ_{rz} .

Для поля напряжений можно сформулировать следующие граничные условия:

$$\sigma_{rz} \big|_{r=0} = 0,$$

а на боковой поверхности цилиндра справедлив закон трения, например, по Кулону

$$|\sigma_{rz}|_{r=R} = \mu |\sigma_{rr}|_{r=R},$$

где μ – коэффициент трения. Применив правило знаков для напряжений, снимем знак модуля

$$\sigma_{rz} \big|_{r=R} = -\mu \sigma_{rr} \big|_{r=R}.$$

Статически возможные напряжения наряду с граничными условиями должны удовлетворять дифференциальным уравнениям равновесия

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{rr}}{\partial r} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} + \frac{\sigma_{rr} - \sigma_{\varphi\varphi}}{r} &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rz}}{r} &= 0, \end{aligned}$$

первое из этих уравнений существенно упростится, если принять гипотезу о том, что $\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{rr}$.

Выберем статически возможное поле напряжений. Для этого зададим напряжение σ_{rz} с точностью до варьируемого параметра b_0 с учетом граничного условия в виде линейной функции от r :

$$\sigma_{rz} = b_0 \frac{r}{R}.$$

Интегрирование последнего уравнения позволит найти напряжение σ_{rr} :

$$\sigma_{rr} = -\int \frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial z} dr + f(z) = f(z),$$

где $f(z)$ – произвольная функция интегрирования. Напряжение σ_{zz} найдем из второго уравнения равновесия

$$\sigma_{zz} = -\int \left(\frac{\partial \sigma_{rz}}{\partial r} + \frac{\sigma_{rz}}{r} \right) dz + f_1(r) = -2 \frac{b_0}{R} z + f_1(r),$$

где $f_1(r)$ – произвольная функция интегрирования. Примем $f_1(r) = b_1$, где b_1 – варьируемый параметр, и получим

$$b_0 = -\mu \cdot f(z),$$

отсюда

$$f(z)b_0 = -\frac{b_0}{\mu}.$$

Вычислим среднее нормальное напряжение

$$\sigma = \frac{1}{3} \left(-2b_0 \frac{h}{R} \frac{z}{h} + b_1 - 2 \frac{b_0}{\mu} \right)$$

и интенсивность касательных напряжений

$$T = \sqrt{\frac{1}{3}(\sigma_{rr} - \sigma_{zz})^2 + \sigma_{rz}^2} = \sqrt{\frac{1}{3} \left(-\frac{b_0}{\mu} + 2b_0 \frac{h}{R} \frac{z}{h} - b_1 \right)^2 + \left(b \frac{r}{R} \right)^2}.$$

Функционал принципа виртуальных напряжений имеет вид

$$J_1 = \int_0^{2\pi} \int_0^h \int_0^R \left[\int_{\tau_s}^{T'} \Lambda(T) dT + \int_{\sigma_o}^{\sigma'} \varepsilon(\sigma) d\sigma \right] r dr dz d\varphi - \\ - \int_0^{2\pi} \int_0^R \sigma'_{zz} \big|_{z=h} u_z^* \big|_{z=h} r dr,$$

здесь штрихами отмечены варьируемые величины, а $u_z^* \big|_{z=h} = -\Delta h$ — известное перемещение пуансона.

Из уравнений связи напряжений и деформаций следует, что

$$\Lambda(T) = (T - \tau_s) / \alpha_\Lambda;$$

$$\varepsilon(\sigma) = (\sigma - \sigma_o) / \beta_\varepsilon.$$

Вычислим интегралы в квадратных скобках функционала:

$$\int_{\tau_s}^{T'} \frac{1}{\alpha_\Lambda} (T - \tau_s) d\tau = \frac{1}{2\alpha_\Lambda} (T' - \tau_s)^2;$$

$$\int_{\sigma_o}^{\sigma'} \frac{1}{\beta_\varepsilon} (\sigma - \sigma_o) d\sigma = \frac{1}{2\beta_\varepsilon} (\sigma' - \sigma_o)^2.$$

После подстановок получим следующую запись функционала:

$$J_1 = 2\pi \left\{ \int_0^h \int_0^R \frac{1}{2\alpha_\Lambda} \left[\sqrt{\frac{1}{3} \left(-\frac{b_0}{\mu} + 2b_0 \frac{h}{R} \frac{z}{h} - b_1 \right)^2} - \tau_s \right]^2 + \frac{1}{2\beta_\varepsilon} \times \right.$$

$$\times \left[\frac{1}{3} \left(-2b_0 \frac{h}{R} \frac{z}{h} + b_1 - 2 \frac{b_0}{\mu} \right) - \sigma_0 \right]^2 r dr dz + \Delta h \int_0^R \left(-2b_0 \frac{h}{R} + b_1 \right) r dr \}.$$

Теперь, если найти значения b_0 и b_1 , сообщающие экстремум функционалу, то можем определить поле напряжений.

Есть возможность еще уменьшить количество варьируемых параметров. Например, пусть известно давление прессования p . Тогда следует

$$\sigma_{zz} |_{z=h} = -2b_0 \frac{h}{R} + b_1 = -p$$

$$\text{и} \quad b_1 = 2b_0 \frac{h}{R} - p.$$

Для дальнейшего упрощения допустим, что сопротивление сдвиговой деформации и сопротивление объемной деформации равны нулю, что справедливо в начальный период деформации порошкового тела, т.е. примем $\tau_s = 0$, $\sigma_0 = 0$. Тогда после интегрирования и использования условия экстремума $\frac{dJ_1}{db_0} = 0$ удастся аналитически найти варьируемый параметр:

$$\frac{b_0}{p} = \frac{\frac{h}{R} + \frac{1}{\mu} + \frac{\alpha_\Lambda}{\beta_\epsilon} \left(\frac{h}{R} - \frac{1}{\mu} \right)}{\frac{1}{\mu^2} + \frac{2}{\mu} \frac{h}{R} + \frac{4}{3} \frac{h^2}{R^2} + \frac{3}{2} + \frac{\alpha_\Lambda}{\beta_\epsilon} \left(\frac{4}{\mu^2} - \frac{4}{\mu} \frac{h}{R} + \frac{4}{3} \frac{h^2}{R^2} \right)}.$$

В начальный период уплотнения порошка сопротивление пластическому деформированию создается, в основном, в виде затрат энергии на изменение объема. Поскольку сдвиги в этот период развиты слабо, то упрочнение материала от сдвиговой деформации мало, поэтому можно допустить $\alpha_\Lambda = 0$, и тогда последняя формула преобразуется к виду

$$\frac{b_0}{p} = \frac{\frac{h}{R} + \frac{1}{\mu}}{\frac{1}{\mu^2} + \frac{2}{\mu} \frac{h}{R} + \frac{4}{3} \frac{h^2}{R^2} + \frac{3}{2}}.$$

Как видно из этой формулы, анализируемая функция нелинейно зависит от коэффициента трения и параметров очага деформации.

Графически зависимость $\frac{b_0}{p}$ от параметров $\frac{h}{R}$ и μ представлена на рис. 3.4.

На основании этих результатов получим выражение для расчета относительного осевого напряжения

$$\frac{\sigma_{zz}}{p} = -1 + 2 \frac{b_0}{p} \frac{h}{R} \left(1 - \frac{z}{h}\right).$$

Используя эту формулу, можно оценить относительное падение осевого напряжения по высоте заготовки:

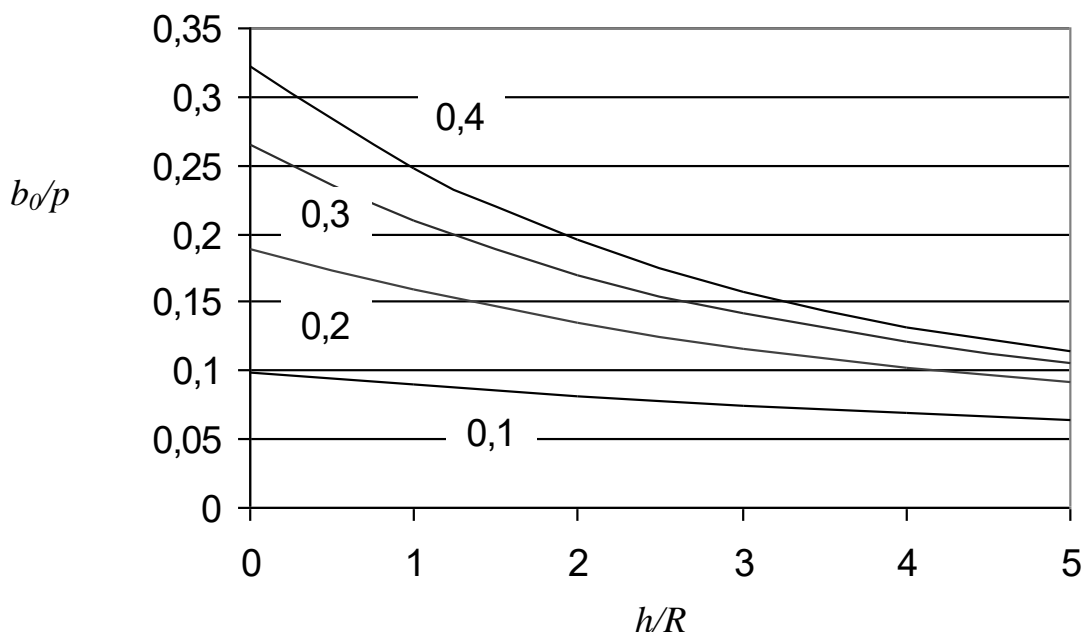


Рис. 3.4. Зависимость варьируемого параметра от h/R и коэффициента трения (числа при кривых)

$$\frac{\Delta\sigma_{zz}}{\sigma_{zz}} = \frac{\sigma_{zz}|_{z=h} - \sigma_{zz}|_{z=0}}{\sigma_{zz}|_{z=h}} = -2 \frac{b_0}{p} \frac{h}{R}.$$

Соответствующие графики приведены на рис. 3.5, где для сравнения показаны аналогичные зависимости, построенные по формуле $\frac{\Delta\sigma_{zz}}{\sigma_{zz}} = -2\mu\chi \frac{h}{R}$, полученной предыдущими исследователями.

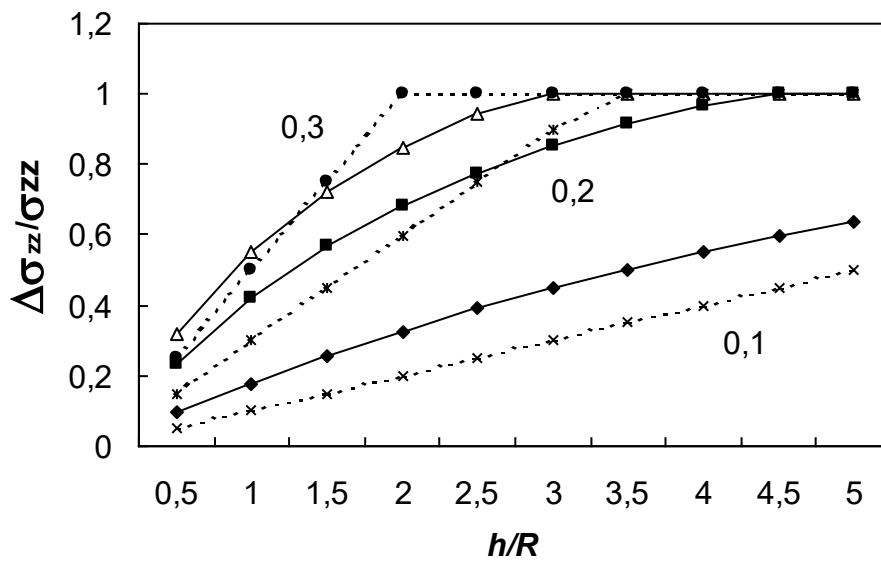


Рис. 3.5. Относительное падение давления по высоте заготовки по полученной формуле (сплошные линии) и по формуле $\frac{\Delta\sigma_{zz}}{\sigma_{zz}} = -2\mu\chi \frac{h}{R}$ при различных μ (числа при кривых) и коэффициенте бокового давления $\chi=0,5$ (штриховые линии)

Из рисунка видно, что при некоторых соотношениях между величинами μ и h/R падение напряжения $\Delta\sigma_{zz}$ становится равным самому напряжению. Очевидно, что в такой ситуации уплотнение заготовки по всему объему происходить не будет.

ИЗОСТАТИЧЕСКОЕ ФОРМОВАНИЕ ПОРОШКОВ МЕДИ

При изостатическом формовании на уплотняемый материал оказывается одинаковое давление жидкости или газа со всех сторон (рис. 4.1). Поэтому преимуществом этого способа формования является равномерное распределение плотности. Кроме того, из-за отсутствия напряжений трения на контактных поверхностях снижается общая энергия, необходимая для уплотнения, поэтому напряжения прессования могут оказаться ниже.

Однако при получении заготовок одной и той же плотности

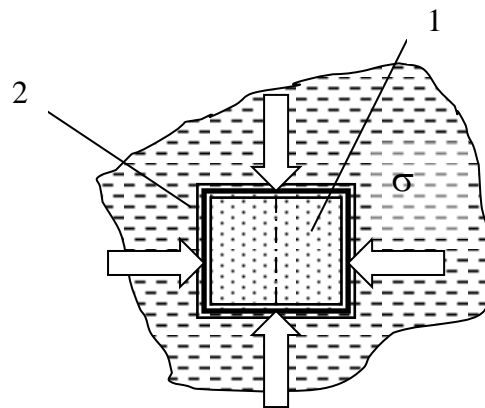


Рис. 4.1. Схема гидростатического уплотнения порошковой заготовки 1, помещенной в оболочку 2, давлением жидкости σ

оказалось, что напряжение «чистого» прессования не совпадает с напряжением изостатического формования, о чем свидетельствуют графики рис. 4.2[6]. Методика этих испытаний заключалась в следующем. Гидростат представлял собой обычный контейнер, заполненный машинным маслом, но оснастка была снабжена самоуплотняющимися манжетами для пуансонов. В канал гидростата диаметром 36 мм помещали порошок меди в сферической оболочке и подвергали обжатию на прессе 300 кН.

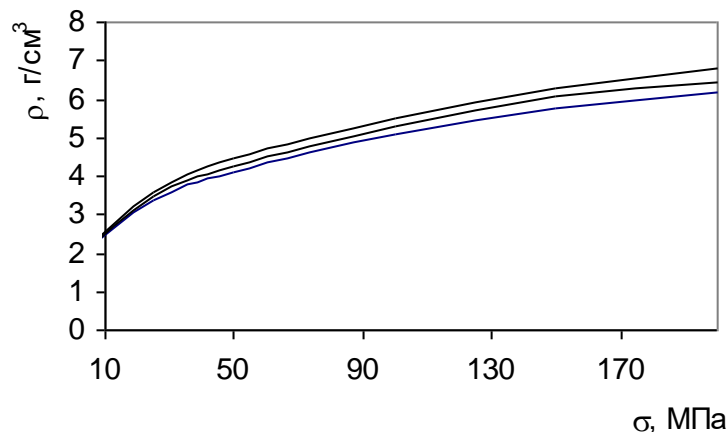


Рис. 4.2. Зависимость плотности ρ порошка меди от приложенного напряжения σ при различных условиях нагружения, сверху вниз: при одностороннем прессовании в закрытом контейнере, при «чистом» прессовании, при изостатическом (гидростатическом) прессовании

Процессы изостатического формования подразделяются на следующие виды:

- Гидростатическое формование. Средой, передающей давление, в этом случае, является жидкость.
- Квазиизостатическое формование. В этом способе применяют в качестве рабочих сред упругие и пластические вещества.
- Горячее изостатическое формование. При высоких температурах приходится использовать рабочие среды в виде нагретых инертных газов, расплавов металлов и неметаллов.

Как видно из приведенных графиков, все эти виды изостатического прессования позволяют снизить необходимое для уплотнения давление, особенно при больших отношениях D/H , что иллюстрируется рис. 4.3.

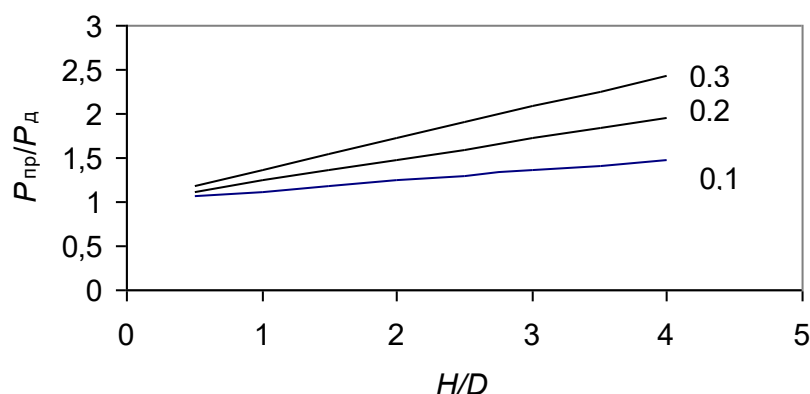


Рис. 4.3. Зависимость отношения $P_{\text{пр}}/P_{\text{д}}$ от параметра H/D и коэффициента трения (числа при линиях графиков)

Приведенная на графике уплотнения меди зависимость в виде монотонной кривой линии, строго говоря, не является точной. В литературе часто обсуждается вопрос о немонотонном изменении плотности при изменении напряжения прессования. Различают, в основном, три стадии прессования [1] (рис. 4.4): на стадии 1 происходит интенсивный прирост плотности при относительно небольших давлениях. В это время происходит интенсивное перераспределение положения частиц внутри объема заготовки. Этот механизм не связан с пластической деформацией больших объемов материала. Этот этап формоизменения принято называть стадией структурного уплотнения порошкового тела.

На стадии 2 прирост плотности затормаживается несмотря на рост напряжений. Это объясняется тем, что механизмы свободного

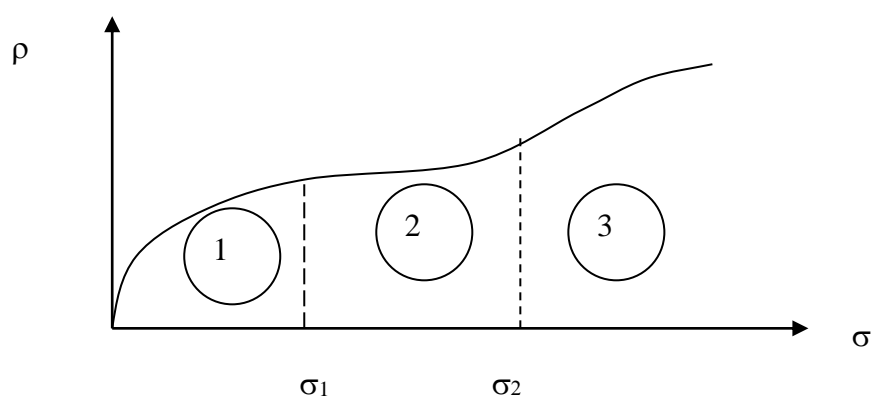


Рис. 4.4. Три стадии уплотнения порошка

перемещения частиц внутри объема заготовки в целом уже не работают, при наращивании напряжений начинается упругая деформация контактных поверхностей частиц, которая не приводит к повышению плотности.

При дальнейшем увеличении напряжений упругие деформации сменяются пластическими и начинается необратимое изменение плотности. Стадия 3 характеризуется необратимыми деформациями формы частиц и площадок контакта между ними. В этом варианте многое зависит от сопротивления деформации материала, из которого изготовлен порошок. Медь характеризуется относительно невысоким значением сопротивления деформации: от 80 МПа в ненагартованном состоянии до 350 МПа в состоянии повышенной нагартовки. Для относительно мягких материалов различие в протекании отдельных стадий уплотнения принято считать не очень существенным. Вместе с тем для меди установлены ориентировочные границы перехода из первой стадии во вторую на уровне $\sigma_1 = 120$ МПа или относительной плотности $\bar{\rho} = 0,63$; из второй стадии в третью на уровне $\sigma_2 = 750$ МПа или относительной плотности $\bar{\rho} = 0,90$.

При осуществлении уплотнения в условиях холодной деформации используются различные конструкции гидростатов – прессов, в которых рабочей средой, передающей давление, является жидкость: вода, эмульсия, масло.

В технической литературе изобретение способа гидростатического прессования относят к 1913 г. Патентом США №1081618*, полученным WESTINGHOUSE LAMP COMPANY, был защищен процесс обработки заготовок из отражающих материалов. На схеме рис. 4.5 показано, что заготовку помещали в довольно тонкостенный сосуд, который закрывали крышками. Через сверление в боковой поверхности корпуса, играющего роль контейнера, подводили жидкость высокого давления.

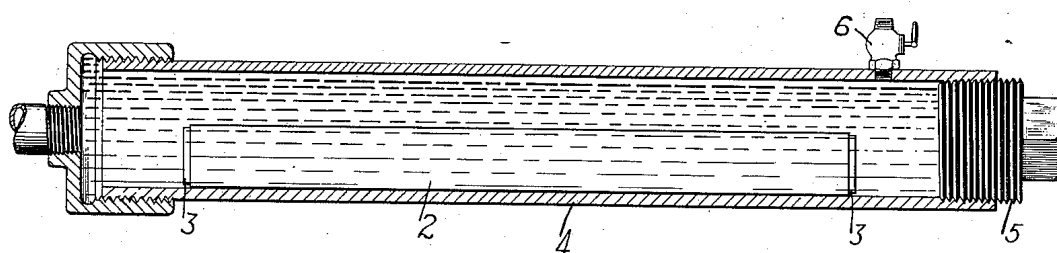


Рис. 4.5. Схема первого процесса гидростатического формования по патенту №1081618 WESTINGHOUSE LAMP COMPANY (сохранена нумерация описания к патенту): 2 – заготовка; 3 – торцы; 4 – корпус; 5 – винтовые крышки; 6 – подвод рабочего давления жидкости.

Судя по рисунку первого патента, это техническое решение не удалось реализовать, так как тонкая стенка первого гидростата не выдержала бы даже небольшого давления жидкости.

С тех пор отношение к построению гидростатов довольно сильно изменилось. Например, вместо тонкостенного корпуса используют толстостенные втулки, предварительно упрочненные прессовыми посадками с целью создания предварительных напряжений сжатия во внутренней втулке. Это позволяет погасить часть напряжений растяжения при работе гидростата. Зарубежные фирмы часто используют прием обмотки контейнера гидростата прочными лентами или проволокой для создания предварительного напряжения сжатия. Известны и другие технические решения, позволяющие создать устройства, способные выдержать огромные давления рабочей жидкости, способные деформировать металл.

Основные преимущества способа изостатического прессования заключаются в устранении трения о поверхность инструмента. По

* Пат. № 1081618 США. МКИ В22F 3/04. Process of preparing billets of refractory materials / H.D.MADDEN; заявитель WESTINGHOUSE LAMP COMPANY // Publ. 1913.16.12.

некоторым данным, это позволяет уменьшить давление по отношению к способу двухстороннего прессования в 1,5 раза и по отношению к способу одностороннего прессования – в 3 раза. Но, скорее всего, эти данные относятся к получению изделий с большим отношением высоты к диаметру.

На рис. 4.6 изображен гидростат для формирования тонкостенных труб.

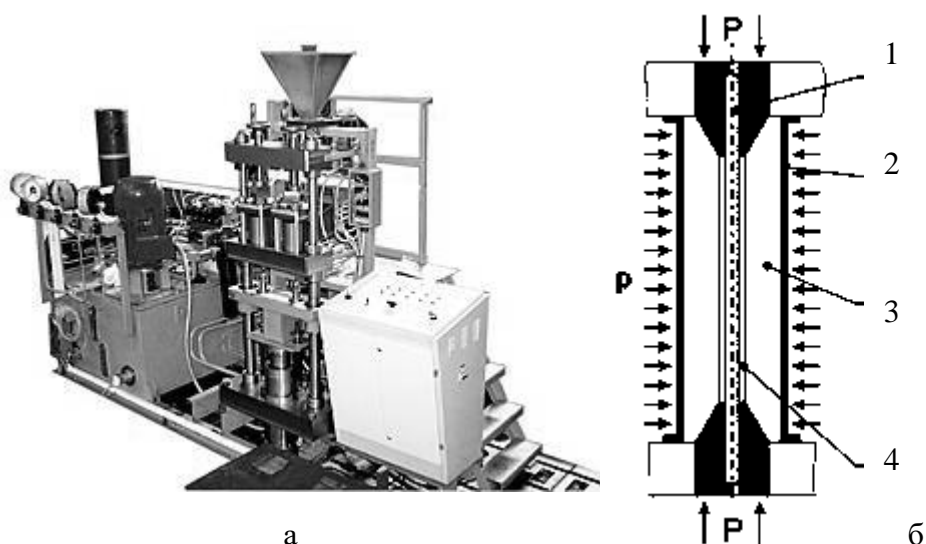


Рис. 4.6. Гидростат конструкции ВНИИМЕТМАШ рабочим давлением 200 МПа для формирования из порошка труб диаметром 10,7 мм с толщиной стенки 1 мм (а) и схема процесса (б): 1 – игла; 2 – жидкостная оболочка; 3 – жидкостная струя; 4 – прессуемый

В варианте горячего изостатического прессования используются газостаты – прессы, в которых рабочей средой, передающей давление, служит нагретый инертный газ (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Газостат конструкции ВНИИМЕТМАШ рабочим давлением 200 МПа

Использование устройств гидростатического и газостатического прессования обходится довольно дорого, поскольку их производительность оказывается меньше, чем производительность прессов-автоматов. Производительность снижается из-за большого времени загрузки-выгрузки заготовок и изделий. Повышения производительности добиваются загрузкой одновременно большого количества заготовок, размещенных в перфорированных емкостях – корзинах. Кроме этого, следует иметь в виду, что заготовки следует изолировать от проникновения рабочей жидкости или газа в поровое пространство, поэтому необходимо применение оболочек, что повышает себестоимость продукции.

Основная цель, которая ставится при использовании устройств изостатического прессования, – добиться наиболее однородного распределения плотности по сечению изделия. При этом могут быть решены и чисто технологические проблемы устранения дефектов, характерных для производства изделий в условиях действия напряжений трения. Среди этих проблем можно отметить следующие: налипание меди на рабочую поверхность инструмента, образование трещин в областях локализации деформаций.

ПРОКАТКА ПОРОШКОВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Как способ деформации прокатка является самым производительным методом уплотнения порошков, поскольку процесс характеризует непрерывность его осуществления. Вместе с тем она обладает двумя существенными недостатками:

- толщина порошковых лент ограничена возможностями захвата и составляет величину до нескольких миллиметров;
- в отличие от формования порошков в закрытых контейнерах, где удастся получить форму готового изделия, при плоской прокатке производится полуфабрикат в виде ленты, который нуждается в последующем раскрое и доведении заготовок до конфигурации готового изделия.

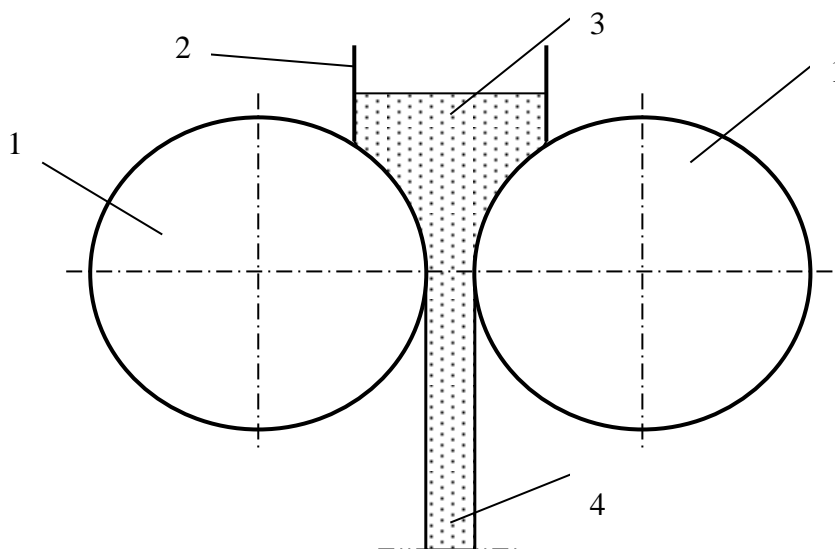


Рис. 5.1. Схема процесса прокатки порошка: 1 – валки; 2 – бункерное устройство; 3 – порошок; 4 – лента

Схема прокатки порошка изображена на рис. 5.1.

Очаг деформации при прокатке порошка характеризуется различными зонами. Положение этих зон фиксируется центральными углами, вершины которых находятся в центре вала. Отсчет углов осуществляется от плоскости $A-A$, соединяющей оси валков (рис. 5.2). Различают следующие углы.

- Угол $\alpha_{\text{ш}}$ характеризует положение шибера (стенки бункера). Перемещая шибер вдоль образующей вала, можно регулировать ширину очага деформации.
- Угол $\alpha_{\text{г}}$ характеризует границу влияния положения шибера на плотность получаемой ленты. Изменяя угол $\alpha_{\text{ш}}$ в пределах $0 \dots \alpha_{\text{г}}$,

можно регулировать плотность получаемого проката. При увеличении угла плотность повышается, а при понижении угла – снижается, однако за пределами угла α_r такое воздействие на параметры получаемой ленты становится невозможным. Определить угол α_r можно перемещая стенку бункера, измеряя плотность ленты и находя положение, при котором такого изменения происходить не будет.

■ Угол α_p характеризует положение зоны уплотнения. Иногда этот угол называют углом прокатки, он является своеобразным эквивалентом угла захвата при прокатке компактных заготовок. Следует отметить, что угол захвата в обычной прокатке определить можно простым расчетом, зная обжатие и диаметр вала; этот угол характеризует точку касания заготовки поверхности валков. На первый взгляд при порошковой прокатке тоже существует точка, в которой

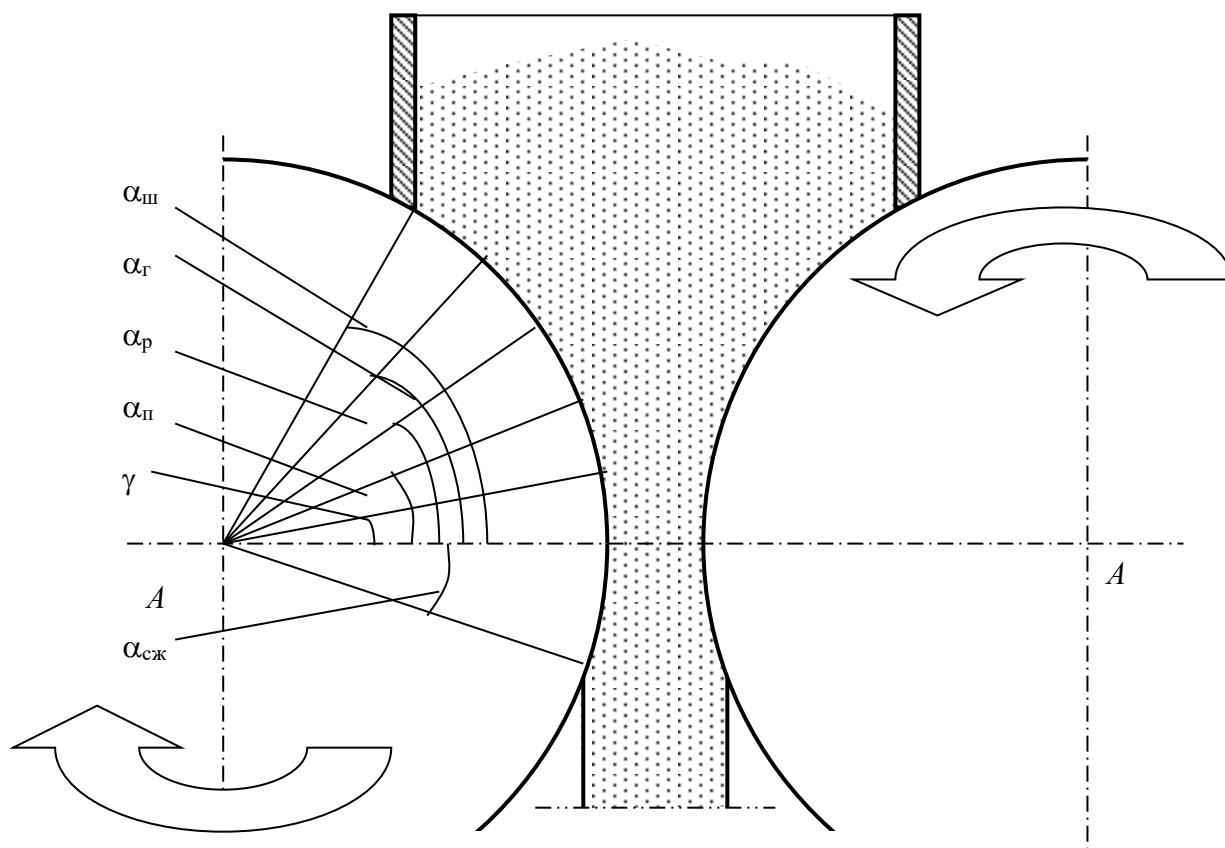


Рис. 5.2. Характерные геометрические параметры очага деформации при прокатке порошка (обозначения в тексте)

порошок впервые касается поверхности вала, эта точка характеризуется углом $\alpha_{ш}$, однако исследования показывают, что в этой точке и даже далее по дуге контакта уплотнение порошка не происходит, не возникает даже значимых давлений на поверхность вала. Применение понятия угла прокатки позволяет указать место

начала силового воздействия на поверхность валка, позволяет также построить эпюры напряжений (нормальных и касательных), осуществлять операции интегрирования для нахождения силы, момента, мощности, работы прокатки. Для нахождения угла используют тензометрические методы исследования с монтировкой точечных месдоз в теле валка и построением экспериментальных эпюр давлений.

- Угол α_n характеризует положение сечения, в котором наступает настолько большое уплотнение, что заготовка не теряет формы при отсутствии формообразующей поверхности валка, иногда это сечение называют сечением образования жесткого клина. Выше этого сечения деформируемый материал представляет собой сыпучее тело, не имеющее собственной формы, а ниже – пористую заготовку, имеющую клинообразную форму с криволинейными образующими. Определяют положение сечения за счет проведения прокатки, реверса прокатного стана и извлечения недокатанной заготовки. Измеряя ее форму, рассчитывают угол α_n .

- Угол γ характеризует положение критического или нейтрального сечения, которое разделяет зоны опережения и отставания. В зоне отставания линейная скорость перемещения прокатываемого материала меньше скорости вращения валков, а в зоне опережения ситуация обратная. Различие в направлениях скоростей вызывает различие в направлении касательных напряжений трения, что существенным образом сказывается на расчетах энергосиловых параметров. Определяют угол, например, тензометрическими методами, измеряя направление действия касательных напряжений по окружности валка.

- Угол $\alpha_{сж}$ характеризует положение сечения выхода ленты из валка. В традиционной толстолистовой прокатке принято считать, что выход прокатанного полуфабриката происходит в плоскости $A-A$, соединяющей центры валков, однако уже при прокатке тонколистового металла учитывают явления упругого сплющивания валков и полосы. При высоких напряжениях прокатки прокат и инструмент подвергаются упругой деформации, которая приводит к изменению размеров получаемой заготовки: она «распухает» после выхода из валков, поэтому толщина проката оказывается больше, чем величина зазора между валками. Указанные явления зависят от упругих свойств прокатываемого материала. Поскольку у порошковых материалов модули упругости значительно ниже, чем у компактных металлов, то большие упругие деформации приводят к значительным изменениям размеров, увеличению длины очага деформации, силы и момента прокатки.

На прокатку порошковой меди, как и вообще на прокатку порошков, значительное влияние оказывает скорость вращения валков. Наблюдается

два эффекта. При слишком медленной скорости вращения существует опасность просыпания порошка без его уплотнения. При слишком высокой скорости вращения валков возникает другая опасность. Механика процесса такова, что уплотнение осуществляется за счет сближения частиц. Но между частицами существуют поры, заполненные воздухом. Воздух должен быть удален его выдавливанием. В направлении прокатки удаление воздуха крайне затруднено из-за образования жесткого клина, о чем говорилось ранее, поэтому воздух удаляется в направлении против вращения валков. Выходящий из очага деформации воздух при высоких скоростях превращается в ветер, выдувающий отдельные частицы. Питание очага деформации порошком затрудняется, что приводит сначала к падению плотности ленты, а при дальнейшем повышении скорости к разрывам, нарушению сплошности.

Обсуждаемый фактор очень важен, поскольку не позволяет наращивать скорости прокатки и выходить на режимы, характерные для прокатки обычного металла. Одно из важных преимуществ прокатки – высокую производительность реализовать не удается.

Одним из основных параметров прокатки порошка является угол прокатки. Во многих случаях его определяют тензометрическим методом, используя точечные месдозы, встроенные в рабочую поверхность валка. С использованием этого метода Е.Б. Ложечниковым [7] при прокатке медного порошка марки ПМ2 на стане с диаметром валков 190 мм в ленты толщиной 0,63...0,83 мм относительной плотностью 0,83...0,86 определен угол прокатки, который составил величину 0,16...0,18 рад (9...10°). Введение в порошок до 2 % оксидов кремния, циркония и гафния приводило к небольшому снижению угла прокатки.

Тензометрическим методом определены также энергосиловые параметры прокатки порошка ПМ2 (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Энергосиловые параметры прокатки порошка меди марки ПМ2

Плотность ленты, г/см ³	Толщина, мм	Максимальное давление, МПа	Сила прокатки, кН	Момент прокатки, кНм	Удельные энергозатраты, кВт·ч/т
7,74	0,62	350	74,3	2,29	21,0
7,74	0,72	355	76,5	2,35	19,0
7,75	0,73	355	77,7	2,42	18,2
7,70	0,83	360	84,4	2,49	16,9

Специализированные станы для прокатки порошков выполняют с расположением плоскости, проходящей через оси валков в горизонтальном направлении, обеспечивая вертикальное направление прокатки. Эта схема

обеспечивает самопроизвольную подачу порошка в валки за счет сил гравитации. Однако возможна схема прокатки порошка и в горизонтальном направлении, но для ее осуществления стан снабжают устройством нагнетания порошка в рабочий зазор между валками (рис. 5.3)

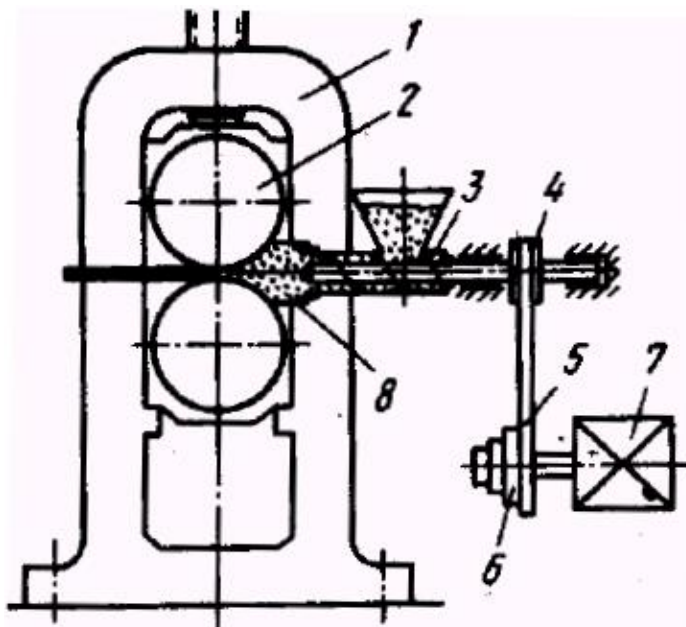


Рис. 5.3. Прокатная клетка стана дуо для горизонтальной прокатки порошка с устройством его подачи: 1 – станина; 2 – рабочий валок; 3 – шнек; 4 – ведомый шкив; 5 – ремень; 6 – ведущий шкив; 7 – электродвигатель

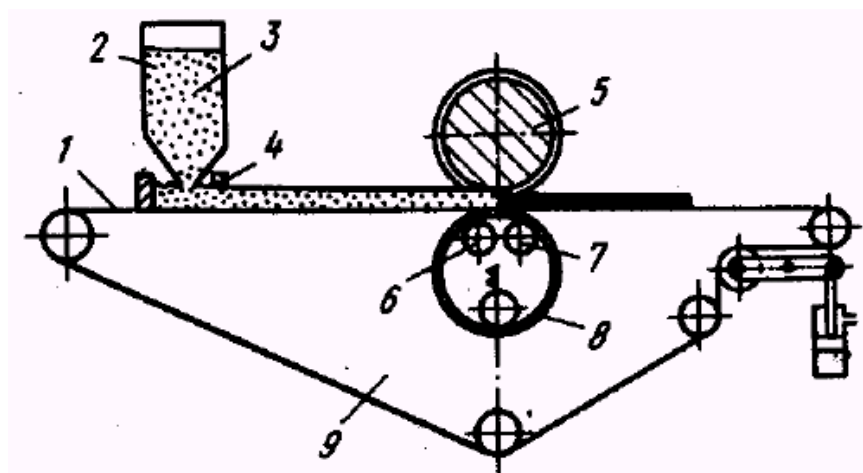


Рис. 5.4. Схема прокатки порошка с использованием прокатного стана и подающей гибкой ленты: 1 – лента; 2 – бункерное устройство; 3 – металлический порошок; 4 – выравнивающее устройство; 5 – верхний валок с буртами; 6 и 7 – прижимные ролики; 8 – нижний валок

При прокатке сыпучей среды очаг деформации ограничен поверхностью валков 1 и 2 (рис. 5.5, а) и стенками бункера 3 и 4. Это не

[illegible]

Рис. 5.5. Схема очага деформации при прокатке (а), эпюры нормальных давлений из теории плоской продольной прокатки (б) и при прокатке сыпучих сред (в)

Если пренебречь упругим расширением порошкового проката, то протяженность зоны деформации характеризуется дугой окружности, опирающейся на центральный угол α . Положение точки ω определяется началом силового воздействия уплотняемого материала на валок, т.е. она

служит для фиксации начала эпюры нормальных давлений p , действующих на поверхности вала. Вместе с тем можно считать, что именно в этой точке плотность материала начнет изменяться от насыпной плотности ρ_0 до текущей плотности, определяемой компрессионной кривой.

Таким образом, рассматривается период прокатки, который в теории плоской продольной прокатки называют установившимся. Следует отметить, что при прокатке слитков различают собственно угол захвата – это тот угол, который можно рассчитать из кинематики прокатки данной заготовки, и максимальный или наиболее возможный угол захвата, при попытке прокатки выше которого возникает пробуксовка и прокатка становится вообще невозможной. При установившейся прокатке сыпучей среды объем материала в бункере всегда больше необходимого для деформации, поэтому имеет смысл определять только максимальный угол захвата, для краткости будем называть его просто углом захвата. В литературе по порошковой металлургии иногда его называют углом прокатки.

Из-за малой протяженности зоны опережения ей обычно пренебрегают. Следуя положениям теории продольной прокатки из рассмотрения условия статического равновесия элемента среды, т.е. равенства нулю суммы проекций всех сил на ось x , получим

$$-G - G_1 + B \left[\int_0^{\alpha} p(\varphi) \sin \varphi \cdot R d\varphi - \int_0^{\alpha} \tau(\varphi) \cos \varphi R d\varphi \right] = 0,$$

где G и G_1 – силы, приложенные к среде на входе и на выходе из очага деформации; B – ширина проката; R – радиус вала; φ – текущий угол; $p(\varphi)$, $\tau(\varphi)$ – зависимости нормальных и касательных напряжений от текущего угла φ .

В отличие от тонколистовой прокатки, где сила G_1 обусловлена приложением переднего натяжения, внешняя сила G_1 при прокатке сыпучих сред практически никогда не прикладывается, так как сформированный прокат обычно обладает слишком небольшой прочностью, чтобы выдержать напряжения, вызванные приложением этой силы, поэтому примем $G_1 = 0$. Внешняя сила G при прокатке ленты является растягивающей и обеспечивает заднее натяжение. При прокатке сыпучих сред на стане с горизонтальным расположением плоскости, соединяющей оси валков, эта сила является сжимающей и обусловлена действием гравитации. В случае применения специальных подпрессовщиков на валковых прессах эта сила обусловлена действием напряжения подпрессовки.

Важным фактором является задание вида эпюр $p(\varphi)$ и $\tau(\varphi)$. В теории продольной прокатки полагают, что $p(\varphi) = \text{const}$, $\tau(\varphi) = \text{const}$, такой вид эпюры показан на рис. 5.5, б. Полагают, что на поверхности вала

действует закон трения Кулона $\tau = \mu * p$, где μ – коэффициент трения, тогда при отсутствии силы G после интегрирования предыдущего выражения и преобразований получают условие

$$\alpha = 2 \arctg \mu,$$

а для малых значений μ

$$\alpha = 2\mu.$$

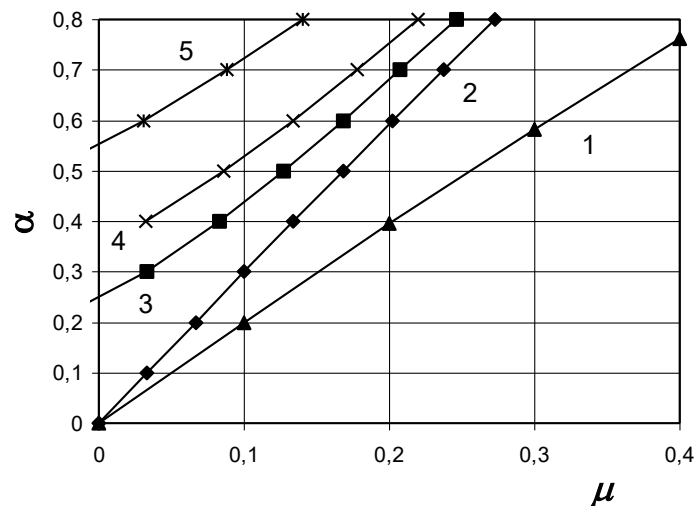


Рис. 5.6. Зависимость угла захвата (прокатки) от коэффициента трения при установившемся процессе прокатки металлической полосы (1) и при прокатке сыпучей среды (2-5) при значениях относительного подпора \bar{G} :
2 – 0; 3 – 0,01; 4 – 0,02; 5 – 0,05

Вид эпюры рис. 5.5, б совершенно не оправдан в случае прокатки сыпучей среды. Действительно, на входе в очаг деформации (линия $\omega-\omega$, рис. 5.5,а) отсутствует какая-либо связность частиц материала между собой, а сопротивление взаимному перемещению их также пренебрежимо мало. Поэтому логично полагать, что на входе в очаг деформации $p(\varphi)|_{\varphi=\alpha} = 0$. В дальнейшем, при вовлечении частиц в очаг деформации, происходит уплотнение материала, а характеристика $p(\varphi)$ непрерывно возрастает до некоторого максимума p_{\max} . В первом приближении допустим, что вид такой зависимости – прямая линия, отображенная на рис. 5.5, в. Выполнение сформулированных граничных условий приводит к возможности формирования статически возможной функции для $p(\varphi)$ в виде

$$p(\varphi) = p_{\max} \left(1 - \frac{\varphi}{\alpha} \right).$$

После подстановок при условии $G_1=0$ и использовании закона трения Кулона получим

$$-G + BR \left[\int_0^{\alpha} p_{\max} \left(1 - \frac{\varphi}{\alpha} \right) \sin \varphi d\varphi - \int_0^{\alpha} \mu \cdot p_{\max} \left(1 - \frac{\varphi}{\alpha} \right) \cos \varphi d\varphi \right] = 0,$$

после интегрирования и некоторых упрощений

$$-\frac{G}{BR \cdot p_{\max}} + 1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha} + \frac{\mu}{\alpha} \cdot (\cos \alpha - 1) = 0.$$

Явным образом аналитически решить это уравнение относительно α не удастся, поэтому удобнее решить его относительно μ :

$$\mu = \frac{\alpha}{1 - \cos \alpha} \left[1 - \frac{\sin \alpha}{\alpha} - \frac{G}{BR \cdot p_{\max}} \right].$$

Результаты расчета по последней формуле изображены в виде графиков рис. 5.6. В самом простом случае при $G=0$

$$\mu = \frac{\alpha - \sin \alpha}{1 - \cos \alpha}.$$

Графическое решение, представленное на рис. 5.3, показывает, что при одинаковых значениях коэффициента трения углы захвата при прокатке сыпучей среды получаются выше примерно на 50 %.

Влияние приложения усилия подпора на угол α явным образом оценить трудно, поэтому решение этого уравнения представлено графически на рис. 5.3 для различных значений безразмерных комплексов

$\bar{G} = \frac{G}{BR \cdot p_{\max}}$. Из полученных результатов следует, что при увеличении

\bar{G} можно столкнуться с ситуацией, когда станет возможным случай $\mu < 0$. Поскольку μ является неотрицательным числом, то следует ограничить область изменения анализируемой функции. Для этого рассмотрим крайний случай и выясним, при каком значении α^* коэффициент трения μ обращается в ноль, для чего запишем условие равновесия в виде уравнения

$$\frac{\alpha^*}{1 - \cos \alpha^*} \alpha^* \left[1 - \frac{\sin \alpha^*}{\alpha^*} - \frac{G}{BR \cdot p_{\max}} \right] = 0,$$

откуда $\bar{G}_{\max} = 1 - \frac{\sin \alpha^*}{\alpha^*}.$

Последняя зависимость изображена в виде графика на рис. 5.7, где показана область определения параметров α и G . На графике рис. 5.5 линия 3 характеризует зависимость $\alpha=f(\mu)$ для $\bar{G} = 0,01$, из рассмотрения

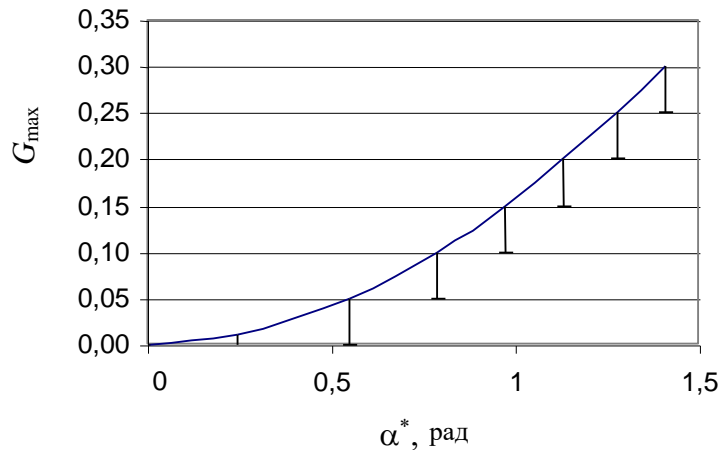


Рис. 5.7. Зависимость максимального относительного подпора от угла α^*

которой видно, что даже при таком небольшом значении подпора эффект увеличения угла захвата значителен. Даже при абсолютно скользкой поверхности валков ($\mu=0$), прокатка в которых при обычных условиях невозможна ($\alpha=0$), вероятно достижение угла захвата, равного 12° . Для оценки значимости значения $\bar{G} = 0,01$ допустим, что $p_{\max}=1000$ МПа, а площадь приложения силы подпора назовем максимально возможной: $F=2RB$, так как при длине бункера больше $2R$ она выходит за пределы сужения очага деформации. Тогда удельное давление подпора

$$\sigma_{nx} = \frac{G}{F} = \frac{\bar{G} \cdot p_{\max} \cdot RB}{2RB} = \frac{1}{2} \bar{G} \cdot p_{\max},$$

откуда для условий примера $\sigma_{nx}=5$ МПа. Это примерно та величина, на которую проектируют усилие устройств для подпрессовки валковых брикетировочных прессов. Как видно из графика рис. 5.3, применение такого подпрессовщика приводит к увеличению угла захвата при реальных значениях коэффициента трения $\mu=0,1...0,3$ на 30...50%.

Следует отметить, что из физических соображений угол α не может превысить 90° , и при подстановке этого значения в равенство получим максимальное значение $\bar{G}_{\max} = 1 - 2/\pi = 0,363$. Увеличение \bar{G} за пределами этого значения не приводит ни при каких обстоятельствах к улучшению условий захвата, поэтому проектировать устройства подпрессовки со слишком большим усилием для достижения этой цели не имеет смысла.

Влияние скорости прокатки медного порошка на параметры прокатки в валках диаметром 85 мм с шириной бочки 90 мм отражено на графиках рис. 5.7 по данным книги [7]. К сожалению, в источнике не указан тип медного порошка, для которого проведены опыты.

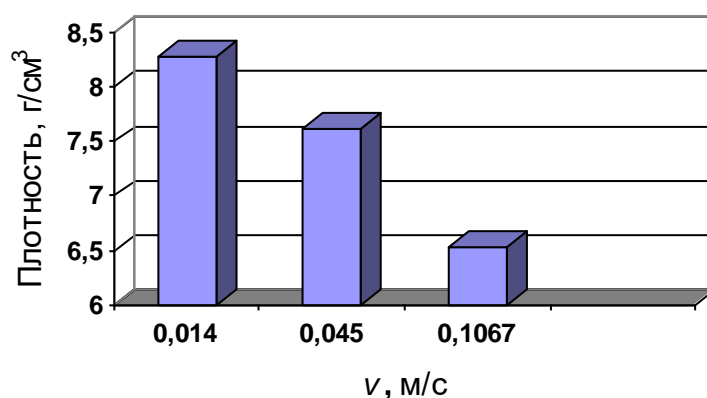


Рис. 5.7. Влияние скорости прокатки порошка меди на плотность получаемой ленты при ее толщине 0,24...0,36 мм

Как видно из диаграммы, наращивание скорости прокатки приводит к уменьшению плотности ленты. Этот эффект объясняется все большим выдуванием из очага деформации частиц и затруднением их поступления в очаг деформации при увеличении скорости вращения инструмента. Дальнейшее увеличение скорости прокатки может привести к появлению разрывов в ленте, такую скорость принято называть верхней критической скоростью прокатки.

Нижняя критическая скорость прокатки определяется как минимальная скорость, при которой наблюдается просыпание порошка в зазор между валками до момента его уплотнения. Данные по нижней критической скорости прокатки медного порошка в литературе отсутствуют.

Изменение толщины медного порошкового проката по мере изменения скорости отражено на диаграмме рис. 5.8.

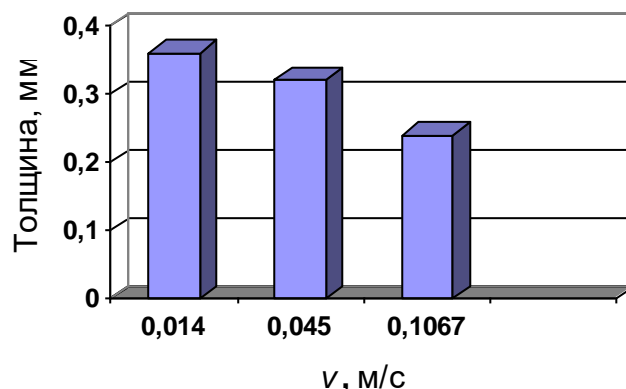


Рис. 5.7. Влияние скорости прокатки порошка меди на толщину получаемой ленты

Эффект уменьшения толщины ленты с нарастанием скорости прокатки объясняется теми же причинами, что и эффект уменьшения плотности.

Величина опережения при прокатке порошков оказывается больше, чем при прокатке компактных металлов. Так, при прокатке порошка твердого сплава с пластификатором выявлены величины опережений до 16 %.

Прокатка порошка меди не получила такого широкого распространения, как прессование медного порошка в жестких пресс-формах. Это объясняется тем, что при прокатке получается плоский полуфабрикат, а не готовое изделие. Для получения из плоского полуфабриката готового изделия придется применить дополнительные виды обработки, что усложняет и удорожает производственный процесс в целом.

СПЕКАНИЕ ЗАГОТОВОК ИЗ ПОРОШКОВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Операция спекания предназначена для повышения уровня связности частиц порошка за счет действия атомных и молекулярных сил притяжения в твердом состоянии с применением нагрева. Металлический порошок отличается от компактного металла большим отношением площади поверхности к объему. Соответственно, поверхностная энергия материала оказывается намного выше. При спекании изменения в форме пор и сокращение их объема приводят к уменьшению уровня поверхностной энергии.

Я.Е. Гегузин предложил следующие механизмы роста площади контакта в области высоких температур в том случае, когда диффузионная подвижность атомов достаточно велика.

- При возникновении вязкого течения вследствие направленного перемещения атомов из объема частиц к контактному перешейку увеличивается площадь контакта и сближаются центры частиц.
- При действии объемной диффузии существует вариант стока избыточных вакансий от выпуклой поверхности частиц к вогнутой поверхности перешейка (рис. 6.1), при этом сближения центров частиц не происходит. Это обстоятельство приводит к тому, что

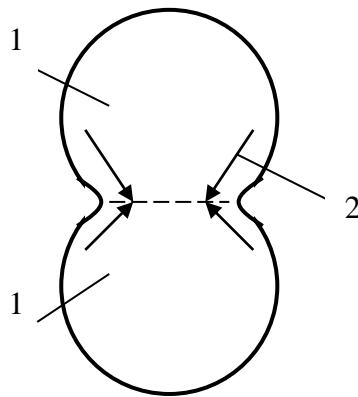


Рис. 6.1. Схема взаимодействия двух частиц порошка при спекании: 1 – частицы; 2 – направление объемной диффузии

пористость заготовки не изменяется.

- При объемной диффузии может существовать вариант стока избыточных вакансий по границе между частицами, при этом центры частиц сближаются, пористость уменьшается.
- При поверхностной диффузии перенос вещества осуществляется от выпуклых участков к вогнутой поверхности перешейка без изменения пористости.

- При переносе вещества через газовую фазу массоперенос осуществляется под влиянием разности равновесных давлений пара вблизи вогнутых и выпуклых участков профиля частиц без изменения пористости.

- При внешнем силовом воздействии возможно течение вещества в контактной зоне с уменьшением пористости.

В работах Я.И.Френкеля предложено рассматривать процесс спекания как двухэтапный. На первом этапе поверхность соприкосновения частиц увеличивается до тех пор, пока промежутки между ними не уменьшатся настолько, что поры оказываются разобщенными и приобретут различную форму, в одном из вариантов – сферическую (рис. 6.1, а, б). На втором этапе объем пор непрерывно уменьшается под действием сил поверхностного натяжения (рис. 6.1, в).

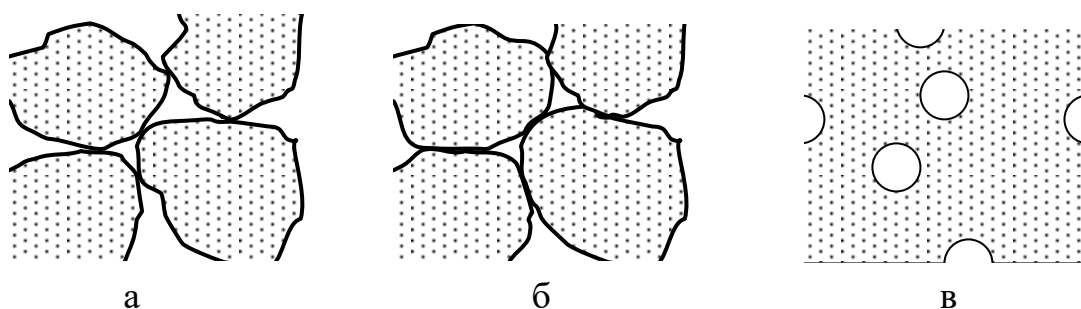


Рис. 6.1. Последовательность изменения формы пор при спекании: а – точечные контакты между частицами в исходном состоянии; б – увеличение площади контакта; в – разобщение и сфероидизация пор

Описанный подход не затрагивает структурных изменений самого спекаемого металла, например не описывает процессов возврата и рекристаллизации, поэтому в настоящее время считается, что спекание порошка происходит в три стадии. На первой стадии частицы порошка остаются дискретными. На второй стадии происходит рекристаллизация, а между частицами происходит процесс взаимной диффузии. В течение третьей стадии наблюдается тенденция к сфероидизации изолированных пор, продолжается процесс уплотнения.

Исследователи отмечают также возможность при спекании переноса атомов через газовую фазу, размещенную в пространстве между отдельными частицами. Этот эффект проявляется значительно при наличии оксидов на поверхности частиц и при наличии частиц с низкой температурой кипения и парообразования.

Процесс парообразования при нагреве порошков протекает более интенсивно, чем при нагреве компактных тел. Это объясняют тем, что

кривизна поверхности части намного больше, чем кривизна поверхности обычных твердых тел, и поэтому упругость пара оказывается различной.

Графики на рис. 6.2 иллюстрируют протекание процесса спекания порошка меди во времени и в функции температуры.

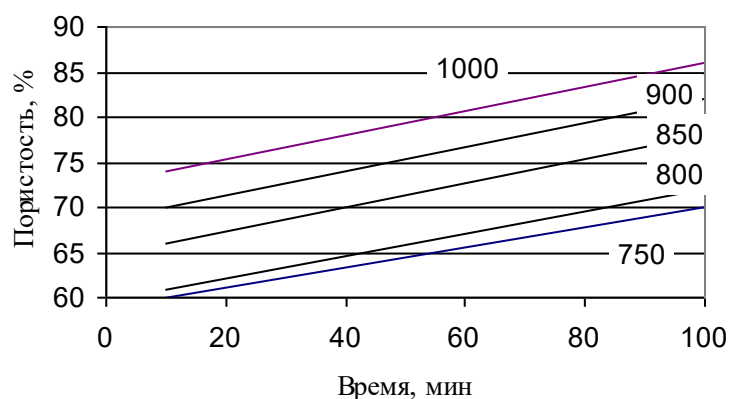


Рис. 6.2. Зависимость пористости спрессованного порошка меди от времени и температуры спекания (по данным Copper Development Association)

Кроме параметров времени и температуры на изменение плотности оказывает влияние исходная пористость материала. График рис. 6.3 иллюстрирует это положение применительно к процессу спекания меди.

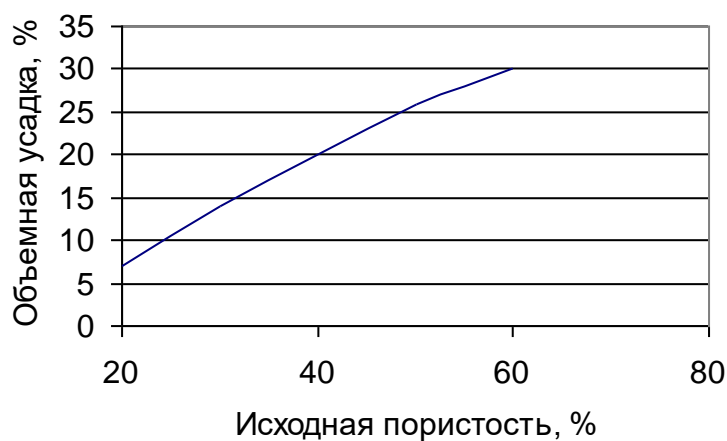


Рис. 6.3. Зависимость объемной усадки от исходной пористости брикетов меди при температуре спекания 800°C и времени выдержки 45 мин[1]

Спекание заготовок, сформованных из порошка меди, является твердофазным процессом, поскольку температуру нагрева назначают заведомо ниже температуры плавления металла. Для смесей и сплавов меди с другими металлами ситуация усложняется. Например, при спекании порошков меди и цинка последний, как правило, находится в

состоянии расплава до тех пор, пока не возникнет новый материал – латунь. То же касается бронзовых изделий, содержащих легкоплавкие компоненты.

Как правило, при спекании меди, ее сплавов и порошковых композитов на ее основе усадка оказывается положительной, т.е. объем заготовки уменьшается. Однако в некоторых случаях наблюдается обратный процесс: увеличение объема заготовки. В системе Cu-Ni по мере повышения содержания никеля в меди усадка сначала уменьшается, а затем происходит увеличение размеров заготовок. Это связано с тем, что коэффициент диффузии меди в никель больше, чем коэффициент диффузии никеля в медь, поэтому в частицах меди образуются дополнительные вакансии, коалесцирующие в поры. Частицы никеля увеличиваются в размерах из-за преобладания притока атомов меди над оттоком атомов никеля. Вообще, наиболее характерно увеличение объема заготовки для сплавов, обладающих свойством ограниченной растворимости.

При повышенных температурах меди и компоненты сплава или композиционного материала могут взаимодействовать с воздушной атмосферой, что приводит к появлению оксидов или насыщению материала газами. Поэтому применяют различные методы защит пресс-изделий от такого взаимодействия. Существуют два основных способа защиты: спекание в специальных засыпках и спекание в защитной атмосфере.

Еще недавно большинство технологий было основано на спекании в засыпках как наиболее дешевом способе термической обработки. Сущность приема основана на укладывании пресс-изделий и пересыпании их мелкодисперсным порошком материала засыпки. В качестве таких материалов применяли кварцевый песок, оксид алюминия, графитовую крупку, асбестовую мелочь и другие вещества. Температура плавления засыпки должна быть больше температуры термической обработки, материал засыпки не должен реагировать с порошковым материалом, из которого изготовлено пресс-изделие. Засыпка может быть нейтральной по отношению к спекаемому материалу или может создавать восстановительную атмосферу, например, за счет частичного сгорания углеродсодержащего вещества.

Применение защитных засыпок преследует также цели разделения пресс-изделий, предотвращения опасности припекания друг к другу и стенкам тары (лодочек, поддонов).

Более современным способом спекания является применение защитных атмосфер. Их состав назначается в зависимости от вида материала с учетом стоимости производства газов (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Химический состав и стоимость (С) защитных атмосфер в сравнении с водородом

Газ	Химический состав, %								С, %
	H ₂	O ₂	N ₂	H ₂ O	NH ₃	CO	CO ₂	CH ₄	
Водород	>99,8	<0,2	-	<0,5	-	-	-	-	100
Диссоцииро- ванный аммиак	75	-	25	<0,01	<0,02	-	-	-	30...50
Экзогаз	15...16	-	<73,5	-	-	10	<0,5	<1,5	3...10
Эндогаз	38...40	-	38...42	-	-	18...20	<1,0	<1,0	5...20
Конвертирован- ный природный газ	75...76	-	<1	1...1,5	-	22...23	1...2	<0,5	8...10
Азот	-	-	95	-	-	-	-	-	20...30
Оксид углерода	<1	<0,2	-	-	-	97	<2	-	-
Генераторный газ	12...16	<0,2	<48	4...5	-	28...34	4...8	<4,0	-

Применение той или иной атмосферы влияет и на достигаемое при этом уплотнение. При спекании медного порошка в восстановительной среде достигается меньшая пористость, чем при спекании в нейтральной атмосфере (рис. 6.4). Это объясняется химическим взаимодействием восстановительной среды на оксидные пленки, что приводит к реакции восстановления и уничтожению барьеров для диффузионных процессов. Тем самым активизируется миграция атомов к контактным участкам не только в поверхностных слоях частиц, но и в их объеме. Спекание в вакууме по сравнению со спеканием в нейтральной среде начинается при пониженных температурах и приводит к получению более плотных изделий.

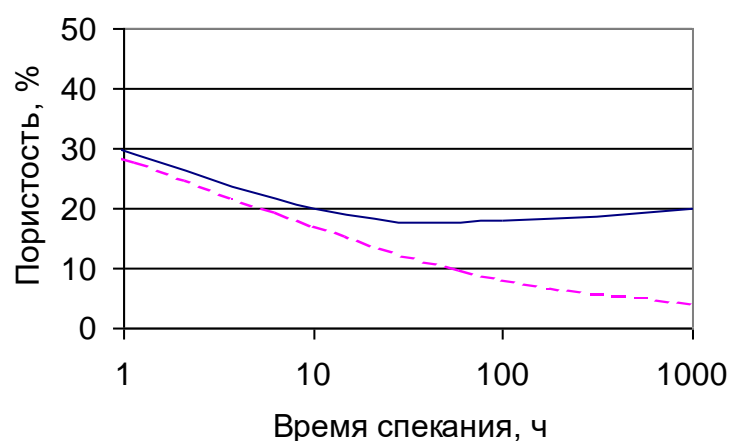


Рис. 6.4. Зависимость пористости брикетов из меди от продолжительности времени выдержки при спекании в водороде (штриховая линия) и аргоне (сплошная линия) при 1000°C и исходной пористости 40 % [1]

В качестве примера обеспечения спекательного передела можно привести оснащение участка порошковой металлургии ФГУП «ПО «Октябрь»» (г. Каменск-Уральский) тремя проходными печами спекания в защитной среде эндогаза с установками для его подготовки.

Аппаратурное оформление процесса спекания может быть различным в зависимости от необходимой производительности и требований достижения необходимых свойств. На рис. 6.5 показана схема печи конвейерного типа.

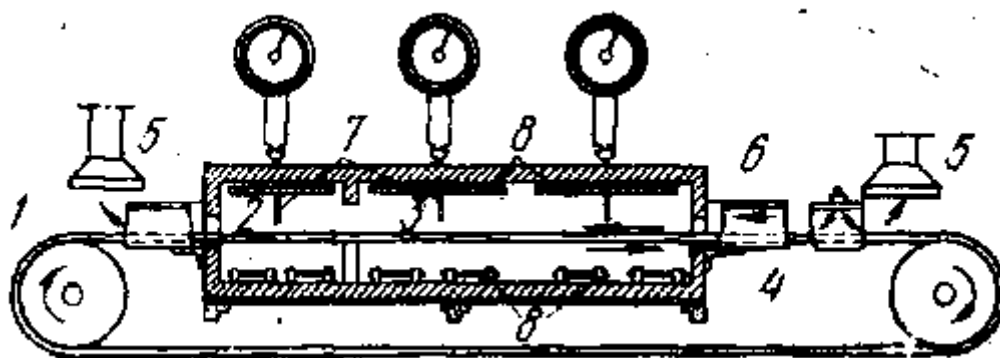


Рис. 6.5. Схема печи конвейерного типа для спекания изделий из порошков: 1 – загрузочный стол; 2 – зона нагрева; 3 – зона выдержки; 4 – зона охлаждения; 5 – вытяжная вентиляция; 6 – устройства подачи газа; 7 – термопары; 8 – экраны

На рис. 6.6 приведен внешний вид участка спекания фирмы ООО «Димитровградский завод порошковой металлургии».



Рис. 6.6. Внешний вид участка спекания
ООО «Димитровградский завод порошковой
металлургии ОАО «Димитровградский
автоагрегатный завод»»

7. Следует отметить, что в процессе спекания потребляется больше энергии, чем в процессе уплотнения, это необходимо учитывать в расчетах энергопотребления.

ПОЛУФАБРИКАТЫ И ИЗДЕЛИЯ ИЗ ПОРОШКОВ МЕДИ И ЕЕ СПЛАВОВ

Применение порошков меди и ее сплавов традиционно основано на учете полезных потребительских характеристик базовых металлов. Для меди характерными свойствами являются следующие характеристики:

- высокая электропроводность;
- высокая теплопроводность;
- низкий коэффициент трения сплавов
- повышенная коррозионная стойкость.

Недостатками, ограничивающими сферы применения сплавов меди, являются:

- высокая физическая плотность (выше, чем у стали, не говоря уже об алюминии, титане), что ограничивает применение металла в авиации, ракетостроении;
- ограничения по диапазону рабочих температур, этот недостаток частично преодолен при разработке новых сплавов и композиций меди с хромом, цирконием и др.;
- высокая стоимость сырьевых материалов.

Антифрикционные материалы на основе меди

В промышленности наиболее широко применяют антифрикционные материалы на основе меди, известные под общим названием бронзографит [4]. Наиболее широко используют оловянную бронзу, содержащую 8,5...9,0 % Sn. Количество графита в спеченном материале колеблется в пределах 1...4 % (табл. 7.1, 7.2). В некоторых случаях графит заменяют фторопластом.

Таблица 7.1

Химический состав и пористость антифрикционных материалов
на медной основе

Номер материала	Химический состав, %					Пористость, %
	Медь	Олово	Свинец	Графит	Фторопласт	
1	88	10	—	2	—	18...20
2	88	8	—	4	—	18...20
3	88	9	—	3	—	18...20
4	90	10	—	—	—	18...20
5	90	10	—	—	+	30...35
6	88	6	6	—	+	30...35
7	87	10	—	3	—	18...20

Таблица 7.2

Свойства антифрикционных материалов на медной основе

Номер материала	Твердость НВ, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Прочность на сжатие, МПа	Рабочая температура, °С	Скорость, м/с
1	320...500	50	500	200	8
2	320...500	35	400	200	8
3	340...550	40	400	200	8
4	350...500	50	500	200	8
5	250...380	30	300	250	50
6	250...380	30	300	250	50
7	300...450	40	500	200	8

Обычные (не порошковые) антифрикционные материалы требуют устройств и целых механизмов подачи смазки на трущуюся поверхность. Особенностью пористых антифрикционных материалов является их самосмазываемость. Это свойство достигается наличием остаточной пористости, объемы пор заполняют смазкой. При работе такого подшипника смазка постоянно поступает на контактную поверхность и находится на ней в виде тонкого слоя, изолирующего место контакта.

Форма и размеры пор являются важными потребительскими свойствами. Схема деформации оказывает влияние на форму пор. В процессах прессования в закрытом контейнере форма поры не изменяется, а при осадке с наличием свободной поверхности поры приобретают форму овала, что иллюстрируется рис. 7.1.

Увеличение давления прессования приводит к повышению равноосности пор. Среда спекания оказывает влияние на размер пор. Спекание в вакууме приводит к образованию мелких сферических пор. При спекании в восстановительной атмосфере без специальных засыпок также образуются мелкие поры. При спекании с использованием засыпок поверхность соприкосновения газовой среды с материалом уменьшается, что приводит к образованию крупных пор. Увеличение продолжительности и повышение температуры спекания способствуют сфероидизации пор.

Достижимые коэффициенты трения при эксплуатации подшипников на основе порошковой меди находятся в пределах 0,005...0,05 в зависимости от условий работы.

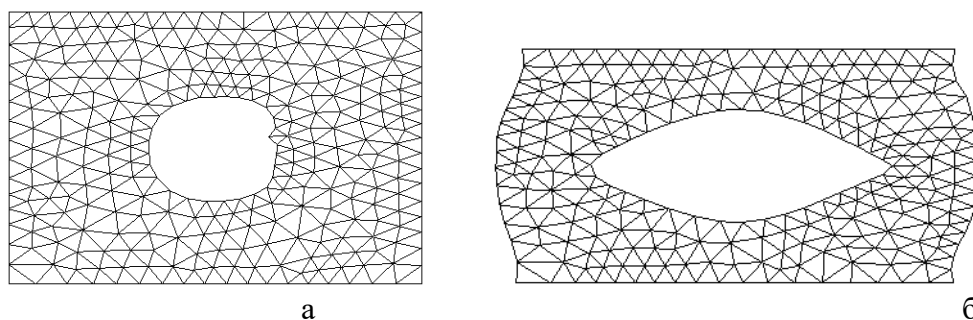


Рис. 7.1. Изменение формы круглой поры при прессовании в закрытом контейнере (а) и при осадке со свободными боковыми поверхностями (б), решение задачи методом конечных элементов треугольной формы

В качестве примера использования бронзового порошкового антифрикционного материала на рис. 7.2 показаны компенсаторы и подшипники шестеренных насосов производства Молодечненского завода порошковой металлургии.

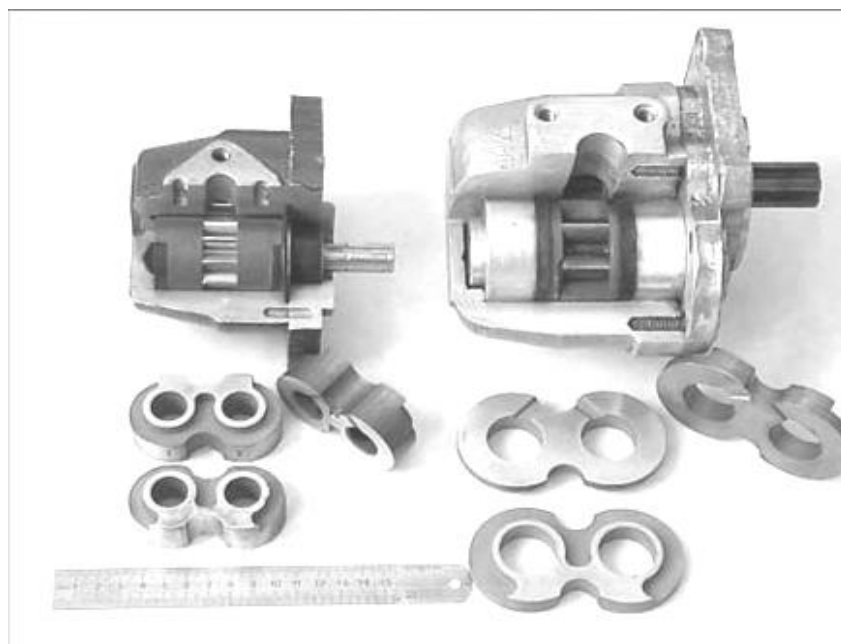


Рис. 7.2. Компенсаторы и подшипники шестеренных насосов производства Молодечненского завода порошковой металлургии

Для их изготовления используется порошковый антифрикционный материал на основе бронзы ОЦ555 с добавками твердых смазок типа графита, дисульфида молибдена и др. Основные характеристики материала:

- твердость 550...640 МПа;
- предел прочности при растяжении 220...240 МПа;
- ударная вязкость 25...30 кДж/м²;
- коэффициент трения в масле 0,004...0,015.

ОАО "Биомашприбор" на основе порошков меди производятся антифрикционные детали для различных отраслей промышленности и детали электротехнического назначения (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Антифрикционные порошковые детали для различных отраслей промышленности производства ОАО "Биомашприбор" (г. Йошкар-Ола)

Детали характеризуются высокой чистотой поверхности, размерной точностью и высокими эксплуатационными свойствами.

Для изделий антифрикционного назначения остаточная пористость является положительным явлением: поры, заполненные жидкой смазкой, в процессе эксплуатации изделий в узлах трения машин и механизмов являются резервуарами для смазки.

Однако в ряде современных конструкций, работающих в вакууме, при повышенных температурах, высоких давлениях, в агрессивных средах материалы с жидкой смазкой работать не могут.

В восьмидесятых-девяностых годах двадцатого века практическое применение получили антифрикционные самосмазывающиеся материалы на основе порошковой меди, которые применялись в изделиях специального назначения и гражданской продукции (рис. 7.4).

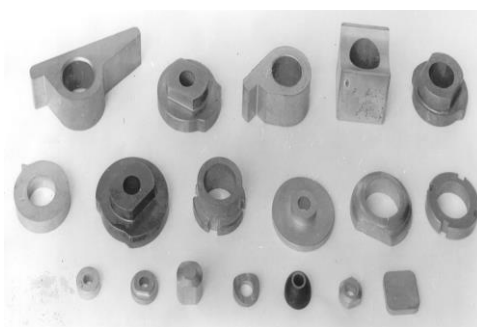


Рис. 7.4. Заготовки из триботехнических износостойких самосмазывающихся материалов на основе порошковой меди

На Ревдинском заводе по обработке цветных металлов освоена технология холодного брикетирования на горизонтальном гидравлическом прессе усилием 31,5 МН, на котором получают брикеты диаметром 200 мм

и высотой 200...250 мм. Затем методом горячего прессования на аналогичном прессе из этих брикетов получают прутки диаметром до 80 мм, профили различной формы (рис. 7.5). При нагреве крупногабаритных брикетов используются печи с индукционным нагревом.

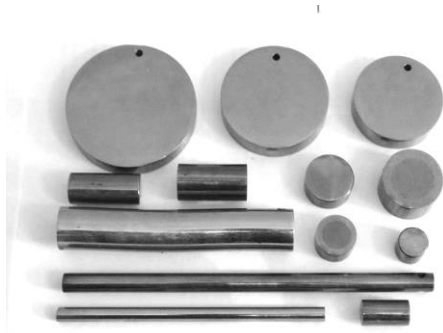


Рис. 7.5. Образцы полуфабрикатов в виде темплетов: моно- и биметаллические прутки диаметром 8-80 мм из ДУКМ марок КМ-4 и КМ-25

Данная схема получения полуфабрикатов из ДУКМ позволила получать полуфабрикаты электротехнического назначения, из которых изготавливают электроды сварки изделий в машиностроении и стройиндустрии (рис. 7.6).



Рис. 7.6. Образцы изделий в виде электродов и наконечников точечной контактной, стыковой и шовной (проволочной) сварки из ДУКМ марок КМ-4 и КМ-25

Опыт промышленной эксплуатации электродов в сварочном производстве показал повышенные эксплуатационные характеристики: стойкость по сравнению с литыми традиционно применяемыми электродами из меди, бронз БрХ1, БрХЦр, БрКН1-3 и другими увеличилась в 4...8 раз за счет повышенной температуры рекристаллизации, удовлетворительной электро- и теплопроводности.

Данная технологическая схема получения полуфабрикатов состоит из следующих этапов:

- химико-механическое легирование порошковых и гранулированных материалов легирующими элементами и получение дисперсно-упрочненного гранулята с равномерным распределением ультрадисперсных частиц упрочняющих фаз (оксидов, карбидов, нитридов и др.);
- последующие технологические переделы: холодное и горячее прессование и другие операции по необходимости (правка, калибровка, термообработка, механическая обработка).

Для определения целесообразности производства полуфабрикатов триботехнического назначения исследовали антифрикционные самосмазывающиеся износостойкие материалы, получаемые по классической технологии с остаточной пористостью, а также с дополнительным уплотнением в газостате (ГИП) и путем горячей экструзии и термообработки.

Термообработка (закалка и старение) данных материалов повышает прочностные характеристики за счет образования однородного раствора с включением хромистой фазы и упрочняющего интерметаллида Ni_3Sn .

Равномерно распределяя ультрадисперсные частицы легирующих элементов в матрице за счет упрочняющей термообработки, удастся создать материалы с высокими эксплуатационными характеристиками.

В табл. 7.3 приведены сравнительные физико-механические характеристики композиционной бронзы, получаемой по разным технологическим схемам.

Таблица 7.3

Сравнительные физико-механические свойства прутков диаметром D из самосмазывающихся износостойких триботехнических материалов на основе порошковой меди (плотность $8,6 \dots 8,7 \text{ г/см}^3$)

Способ получения полуфабриката, химсостав, мас. %	Вид обработки	D , мм	σ_b , МПа	НВ, МПа
1. Новый способ по пат. РФ № 2203972, № 2203973 Олово – 5, хром – 3; никель – 7, дисульфид молибдена – 0,25; графит – 0,25; медь – остальное	После горячей экструзии	10	750	1575
		22	800	1598
	После горячей экструзии и термообработки	10	930	2431
		22	950	2449
2. Известный традиционный способ. Химический состав тот же	После горячей экструзии	22	380	1200
	После горячей экструзии и термообработки	Ø 22	550	1800

При использовании термомеханической обработки (закалка в воде, холодная деформация и старение) прочностные характеристики повышаются до 30 %.

Из рассмотрения табл. 7.3 видно, что химико-механическое легирование порошковых композиций позволяет повысить твердость (HV_{30}) и предел прочности (σ_b) полуфабрикатов в среднем в 1,5...2 раза.

Фирма ЕСКА приступила к выпуску дисперсно-упрочненного материала на основе меди с торговой маркой ЕСКА DISCUP®. При сохранении достаточно высокого значения электропроводности удалось существенно повысить температуру отжига порошкового сплава. Известно, что для этих целей в последнее время обычно применяют хромовые или хромциркониевые бронзы, получаемые часто традиционным методом литья и последующей деформации. На рис. 7.7 отображены сравнительные характеристики нового материала и хромовой бронзы. Видно, что дисперсно-упрочненный порошковый материал сохраняет прочностные свойства вплоть до температур 800...900°C. Технология производства материала включает операции механического легирования с достижением эффекта холодной сварки, холодного прессования и горячей экструзии прутков диаметром от 8 до 25 мм, при этом достигается гомогенная структура распределения оксидов и карбидов. Область применения – наконечники сварочных аппаратов.

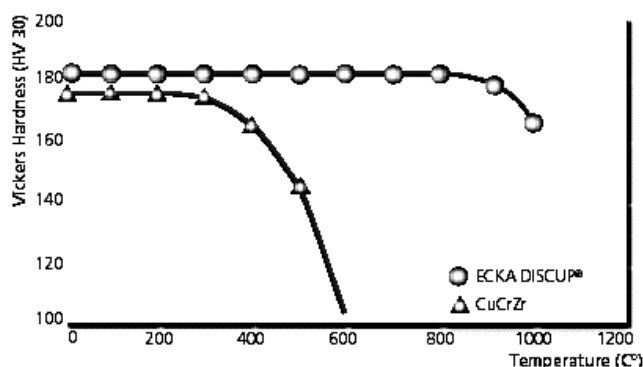


Рис. 7.7. Сравнительные характеристики зависимости твердости по Виккерсу (ось ординат) от температуры (ось абсцисс) для дисперсно-упрочненного материала ЕСКА DISCUP® и хромциркониевой бронзы

Повышенная прочность и пониженные значения коэффициента трения востребованы при изготовлении мебельной и строительной фурнитуры. На рис. 7.8 представлен цилиндрический замок, изготовленный из свинцовой порошковой латуни состава 78Cu-20,5Zn-1,5Pb. По сравнению с литыми и обработанными резанием деталями здесь достигнуты более высокие показатели прочности, точности и

экономичности в изготовлении. Обычно после прессования и спекания достигается плотность материала на уровне $7,6 \text{ г/см}^3$.

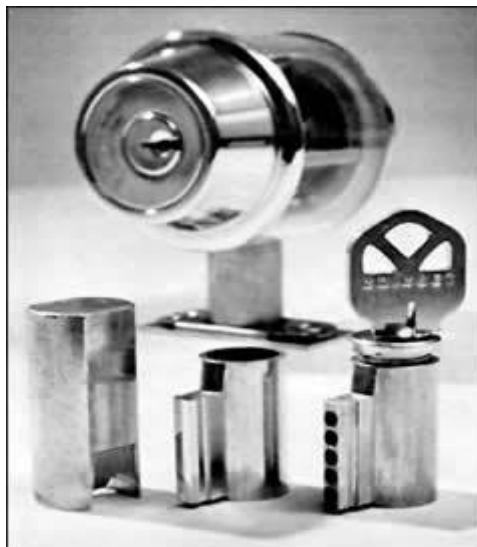


Рис. 7.8. Цилиндровые замки повышенной секретности, изготовленные из латунных порошковых заготовок (по данным ассоциации Copper Development Association)

Повышенные антифрикционные и антикоррозионные свойства порошковой латуни явились основой для разработки деталей конструкционного назначения в устройствах очистки воды от хлора, серы и других химических веществ (рис. 7.9). Отдельные детали или их части покрывают пластиком или хромируют.



Рис. 7.9. Детали конструкционного назначения из порошковой латуни в устройстве очистки воды (по данным ассоциации Copper Development Association)

Антифрикционные свойства деталей из порошкового нейзильбера ($64\text{Cu}-18\text{Ni}-18\text{Zn}$) использованы в тахометрах: устройствах для измерения скорости (рис. 7.10).

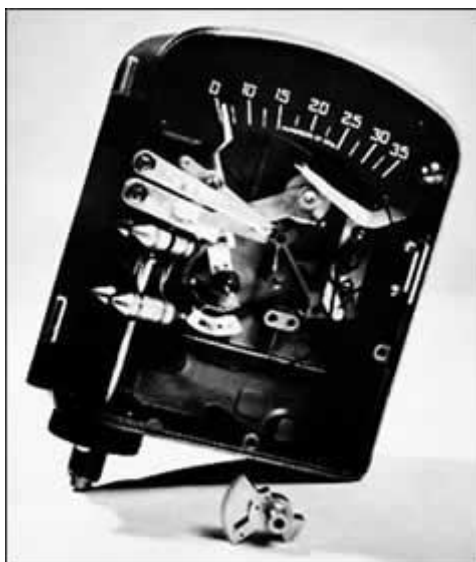


Рис. 7.10. Шестерня из порошкового нейзильбера и тахометр (по данным ассоциации Copper Development Association)

Фрикционные порошковые материалы на основе меди

В состав фрикционных материалов (табл. 7.4) входит большое количество неметаллических компонентов, что, собственно, и обеспечивает повышенный коэффициент трения. Роль меди и сплавов на ее основе, входящих в состав такого композита, – обеспечить повышенный теплоотвод за счет высокой теплопроводности. Изделия на медной основе обычно производят в виде колец толщиной 2...5 мм различных диаметров.

Таблица 7.4

Химический состав фрикционных материалов на медной основе
(при среднем содержании компонентов, %)

Cu	Sn	Pb	Fe	Mn	SiC	MoS ₂	BN	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Асбест	Графит
Основа	9	8	4	2	—	—	—	—	—	—	7
66	8	4	6		6	3	—	—	—	—	7
60	—	5	10	3	3	19	—	—	—	—	—
Основа	—	—	—	5	—	—	—	—	5	—	10
68	8	7	7	—	—	—	—	—	4	—	6
68	5	9	5	—	—	—	—	—	7	—	6
62	6	10	7	—	—	—	—	3	3	3	5

Работа фрикционных устройств (тормозов, муфт сцепления, предохранительных муфт, фрикционных передач и др.) основана на

принципе использования напряжений трения, поэтому материалы должны характеризоваться повышенными значениями коэффициента трения. В расчетах механики торможения важной характеристикой является энергоемкость тормоза, т.е. величина энергии, которую должно поглотить тормозное устройство в процессе торможения.

Работа трения зависит от коэффициента трения, поэтому регламентированы нижние пределы коэффициента трения обсуждаемых устройств. В условиях сухого трения коэффициент трения должен быть не менее 0,2, при использовании смазки – не менее 0,05 [8]. Следует также учесть разогрев тормозного устройства и соответствующую зависимость коэффициента трения от температуры. При работе пары трения должно отсутствовать или быть минимальным явление схватывания. Схватывание может сопровождаться явлением наволакивания материала одного элемента на материал контртела трения, в результате возможно заедание узла. Хорошая прирабатываемость материала позволяет достичь как можно большей контактной поверхности, что приводит к увеличению силы или момента трения. Температура точечных контактов при торможении может достигать до 1000°C и выше, в связи с чем изделия из фрикционных материалов должны быть теплостойкими. Продукты износа пары трения не должны воспламеняться и должны быть экологически безопасными.

Как правило, при конструировании фрикционного материала металлическая матрица составляет 40...50 % от всей массы материала. Она является основой фрикционного узла, обеспечивающей конструкционную прочность. Через эту матрицу отводится тепло трения. В матрице задерживаются частицы фрикционных и противозадирных присадок, а также продукты износа. Роль дополнительных компонентов в антифрикционном материале заключается в следующем.

Присутствие графита обеспечивает повышенное сопротивление заеданию, плавное торможение и предупреждает схватывание. Введение свинца или олова повышает прирабатываемость материалов, что способствует плавному торможению. При резком торможении свинец и олово расплавляются и образуют тонкую жидкостную пленку, предотвращающую схватывание. При работе фрикционных узлов скорость работы контактных поверхностей может резко изменяться. Добавка графита и свинца резко снижает разницу между статическим и динамическим коэффициентами трения и сглаживает пусковые характеристики муфт сцепления. У нас в стране довольно широкое распространение получил антифрикционный материал марки на основе меди следующего состава, мас. %: 60...85 Cu, 0...10 Fe, 0...8 графит, 0...10 асбест, 0...20 SiO₂, 5...15 Pb, 5...10 Sn, 0...2 Ni. Материал обладает плотностью 5,8...6,0 г/см³; твердостью HB 18...25; коэффициентом линейного расширения (17...22)·10⁻⁶ град⁻¹. При использовании в качестве

контртела чугуна, стали 45 или 65Г достигаются коэффициенты трения без смазки 0,26...0,30; со смазкой 0,10...0,12.

С целью исключения коробления тормозных накладок при спекании применяют наложение давления. Обычно величину давления выдерживают в пределах 0,5...0,8 МПа.

Как правило, антифрикционные материалы на основе меди применяют в виде муфт сцепления трансмиссий, работающих в масляной среде, но известны случаи применения этих материалов и в условиях сухого трения

На рис. 7.11 представлены варианты фрикционных дисков опытного производства Института порошковой металлургии, входящего в состав Национальной академии Республики Беларусь.

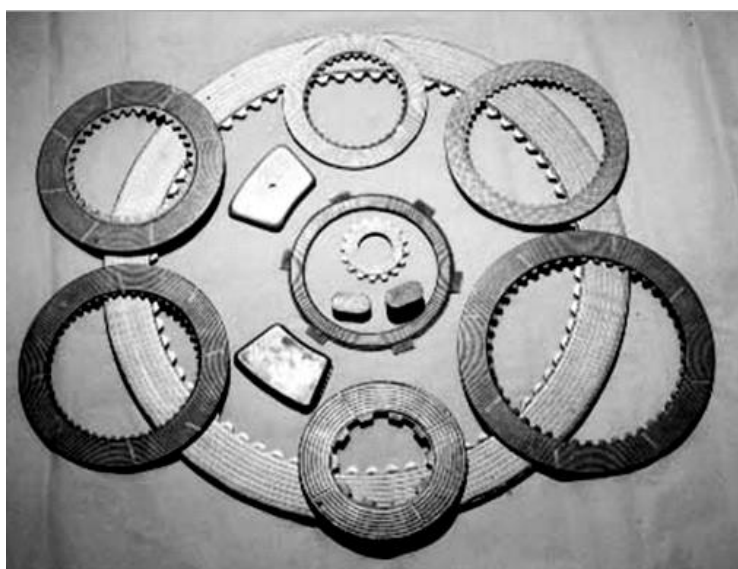


Рис. 7.11. Фрикционные диски из порошковых материалов опытного производства Института порошковой металлургии

Изделия характеризуются следующими показателями:

- коэффициент трения 0,05...0,14;
- интенсивность изнашивания 2...5 мкм/км
- начальная скорость скольжения 50 м/с;
- максимальная нагрузка ... 4,0 МПа.

В зарубежной практике применяют фрикционные материалы на основе меди, содержащие 5...15 % олова, 5...25 % твердой смазки, в качестве которой выступает свинец, графит. Материалы могут содержать дополнительно до 20 % вещества с повышенным коэффициентом трения, в качестве которого используют кремнезем, глинозем, карбид кремния или силицид алюминия, а также до 10 % вещества, снижающего износ, такого как чугун. Типичными композициями являются составы, работающие в условиях сухого трения на основе 75 % меди, 6 % свинца, 7 % олова, 5 %

графита, 4 % дисульфида молибдена, а также составы, работающие в условиях мокрого трения на основе 74 % меди, 3,5 % олова, 16 % графита, 2 % сурьмы.

Контактные материалы на основе меди

Контактные материалы используются в электротехнике для замыкания и размыкания контактов или поддержания контакта в условиях скольжения одного проводника по другому.

Одно из главных требований к материалу электрического контакта – сохранение высокой электропроводности. В табл. 7.5 по данным зарубежного справочника¹ приведены основные физические свойства меди в состоянии компактной заготовки.

Таблица 7.5

Физические свойства меди

Свойство	Величина в английской системе единиц	Величина в системе СИ или СГС
Точка плавления (Melting Point)	1981 F	1083°C
Плотность (Density)	0.323 lb/in ³ при 68 F	8.94 g/cm ³ при 20°C
Коэффициент термического расширения (Coef. Thermal Expansion_	9.4 x 10 ⁶ /F при 68...212 F)	17.0 x 10 ⁶ /°C (при 20...100°C)
Теплопроводность (Thermal Conductivity)	226 Btu/ft ² /ft/hr/F@ 68 F	0.934 cal/cm ² /cm/sec/C @ 20°C
Электрическое сопротивление (Electrical Resistivity)	10.3 ohms (circ mil/ft)@ 68 F	1.71 microhm-cm при 20°C
Электропроводность (Electrical Conductivity)*	101% IACS @ 68 F	0.586 megmho-cm @ 20°C
Модуль упругости (Modulus of Elasticity)	17,000 ksi	117000 MPa

Отмечается, что в порошке меди чистотой 99,95 % отдельные частицы могут иметь такие же свойства, как приведены в таблице. Однако в

¹ Standards Handbook, Part 2, Alloy Data. New York, Copper Development Association Inc., 1973.

обычной технологии прессования и спекания порошка практически невозможно достигнуть плотности $8,94 \text{ г/см}^3$. Иногда для повышения свойств, в основном электропроводности контактов, применяют технологию двойного прессования и спекания.

Электропроводность контактов напрямую связана с остаточной пористостью полученного изделия. Иногда для оценки электропроводности K применяют относительно простую формулу:

$$K = K_s(1 - П/100),$$

где $П$ – пористость, выраженная в процентах; K_s – электропроводность компактного материала.

Обычно электропроводность спрессованной и спекенной меди находится в диапазоне 80...90 % IACS. Отметим, что за 100 % IACS принята электропроводность меди в отожженном состоянии при ее электрическом сопротивлении $0,017241 \text{ мкОм}\cdot\text{м}$, установленная Международной электрической комиссией ИЕС. Влияние плотности на электрические и механические свойства меди отображено на графике рис. 7.12.

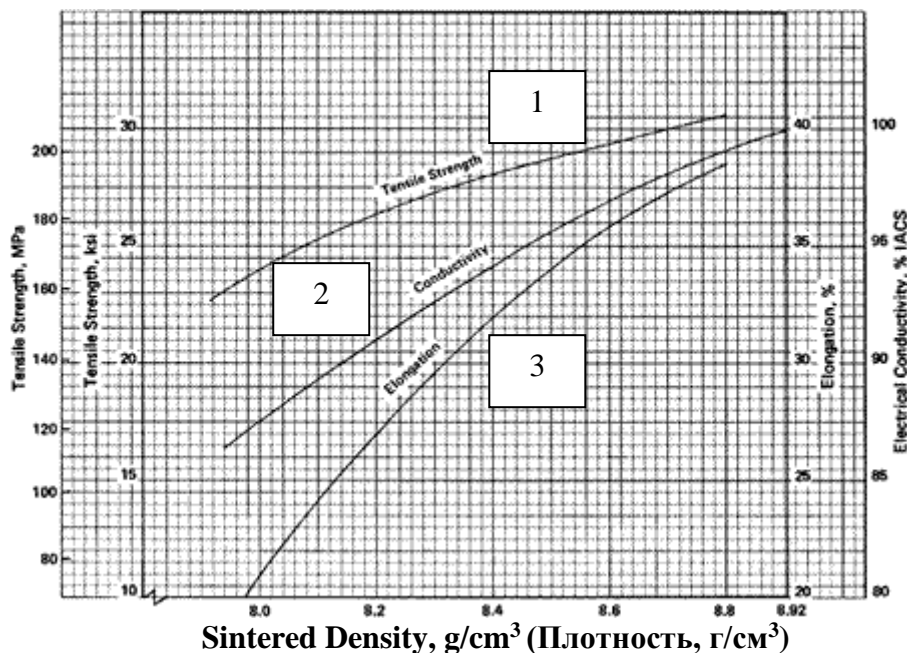


Рис. 7.12. Зависимость прочности (1), электропроводности (2) и относительного удлинения (3) от плотности спекенной порошковой меди

ОАО «Уралэлектромедь» производится широкая номенклатура изделий электротехнического назначения из порошковой меди: электрические контакты, контактодержатели, токоподводящие шины коммутационных

аппаратов. Область применения этих изделий: автоматические выключатели, рубильники, разъемные соединения силовой цепи сварочных агрегатов, электроподвижного состава железных дорог и т.д. Физико-механические параметры: плотность не менее 8,5г/см³; твердость по Бринеллю не менее 55; удельное электрическое сопротивление не более $2,1 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; величина коммутируемого тока до 400 А; рабочее напряжение 220...380 В.

Для коммутации в условиях протекания больших токов и использования высоких напряжений существует идеология разработки состава материала, основанная на использовании меди в качестве проводника тока и введении, по крайней мере, еще одного компонента, выполняющего специальные функции. Например, добавление легкоплавкого кадмия за пределами его растворимости в меди снижает коэффициент трения, а также упрочняет материал в целом. Добавление более тугоплавких компонентов приводит к увеличению прочности контакта при повышении температуры в момент прохождения экстратоков замыкания или размыкания.

В зависимости от применяемой для изготовления контактов композиции используются две технологические схемы их производства.

- Смешивание исходных компонентов, прессование в изделия необходимой формы и размеров, спекание сформованного изделия при температуре выше температуры плавления легкоплавкого компонента (режим жидкофазного спекания).
- Холодное прессование в закрытом контейнере порошка тугоплавкого компонента при давлениях, обеспечивающих транспортную прочность заготовки, последующая пропитка каркаса более легкоплавким компонентом в состоянии расплава.

Примеры составов контактных материалов с применением меди приведены в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Химический состав контактных материалов с использованием меди (при среднем содержании компонентов, %)

Cu	Ag	Графит	WC	W
10	90	—	—	—
95	—	5	—	—
20	—	—	80	—
20	—	—	—	80
40	—	—	—	60
60	—	—	—	40
80	—	—	—	20

Контактные материалы группы медь–вольфрам применяются для изготовления воздушных выключателей для передачи больших нагрузок, контактов сварочных аппаратов, высоковольтных выключателей.

Отличие контактных композиционных материалов от сплавов того же химического состава заключается в том, что при воздействии дугового разряда на порошковый материал не образуется жидкого слоя расплава и сохраняется твердая фаза тугоплавкого компонента.

Устройства подвижного токосъема иногда называют щетками. Традиционно их изготавливают из меди, сплавов меди. В порошковой металлургии наибольшее распространение получили композиционные материалы на основе меди с добавками углеродсодержащих компонентов.

Отличием технологии производства щеток является порядок выполнения операций. При нагреве смешивают углеродсодержащие компоненты: уголь, сажу, пек; затем при комнатной температуре перемешивают полученную смесь с металлическим порошком. Шихту формируют при давлениях 200...400 МПа с получением заготовок, которые подвергают спеканию в защитной атмосфере.

На рис. 7.13 представлена номенклатура деталей



Рис. 7.13. Порошковые детали электротехнического назначения производства ООО «Пормет» (Рязань)

электротехнического назначения одного из предприятий России.

Кроме материалов, упомянутых выше, в электротехнике применяют также магнитно-жесткие порошковые материалы (постоянные магниты) с довольно большим содержанием меди. Такой материал получил название «кунико» от начальных слогов названий исходных составляющих металлов (Cu-Ni-Co). Магниты этого класса содержат 35 % Cu, 41 % Co, 24 % Ni и обладают остаточной индукцией 0,7 Тл, коэрцитивной силой 130 кА/м, что выше, чем у кобальтоплатиновых магнитов.

Порошковые материалы повышенной пористости на основе меди (фильтры)

Пористость в той или иной степени характерна для всех порошковых материалов, но среди всех выделяется группа веществ, у которых пористость находится на уровне 20...60 %. Пористые материалы используют для фильтрования, очистки газов и жидкостей от взвешенных твердых частиц. Иногда через эти материалы пропускают поток охладителя и достигают эффекта охлаждения, лучшего, чем при использовании традиционных трубчатых систем. При повышенной пористости достигаются также эффекты звукопоглощения и гашения вибрации.

Из порошков с частицами сферической формы изготавливают фильтры с правильным расположением пор и поэтому с более высокой стабильностью и производительностью фильтрующего устройства, чем при использовании порошков дендритной формы. Для снижения износа и повышения химической стойкости, как правило, применяют порошки не из чистой меди, а из бронзы или нейзильбера. Методом изготовления таких порошков является распыление. В качестве примера предприятия-производителя такого порошка можно упомянуть Молодечненский завод порошковой металлургии, который изготавливает бронзовый распыленный порошок марки ПРБрО10Ф0.3. Это же предприятие изготавливает порошковые фильтрующие элементы разнообразных конструкций (рис. 7.14).

Фильтры используются для очистки воды, щелочных, кислотных и солевых растворов, топлива и смазочных материалов, смол, основ для

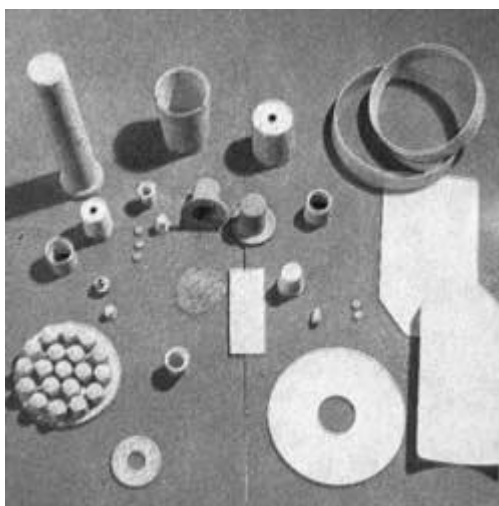


Рис. 7.14. Фильтрующие элементы из порошковой бронзы производства Молодечненского завода порошковой металлургии

лаков, расплавов солей и полимеров, фильтрации сжиженных и сжатых газов при производстве и практическом применении. В ряде случаев можно улавливать дорогостоящие пылевидные катализаторы, используемые в технологических процессах химического и нефтехимического производств, что позволяет значительно удешевить процесс.

В зависимости от области применения, эксплуатационных и конструкционных требований фильтры могут быть выполнены в виде дисков, пластин, цилиндров, стаканов, конусов и др.

В целом фильтры характеризуются тремя основными свойствами: проницаемостью, тонкостью очистки и стабильностью. Минимальный размер частиц, которые могут быть отделены при фильтрации через пористую преграду, главным образом зависит от среднего размера пор. Поры как промежутки между частицами формируются при сближении этих частиц в операциях прессования и спекания, поэтому параметры этих операций являются значимыми для формирования потребительских характеристик фильтров.

Форма фильтрующих элементов и их компоновка в устройстве для фильтрации могут быть различны. На рис. 7.15 приведено одно из технических решений такого рода.

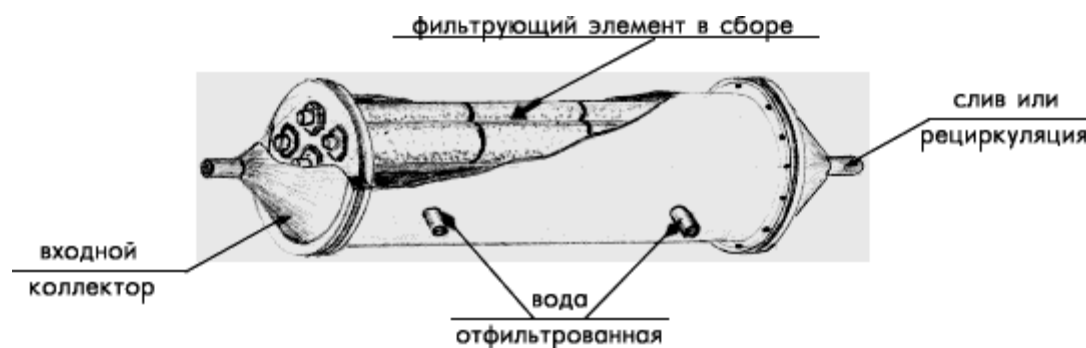


Рис. 7.15. Схема фильтра конструкции ижевской фирмы РЭСТИ (ресурсо-энерго-сберегающие технологии и инструмент) по патенту РФ № 821035

Стабильность работы фильтра определяется способностью сохранять постоянную проницаемость в течение времени эксплуатации. Фильтры, изготовленные из сферических порошков, образуют регулярные структуры пор, поэтому они дольше сохраняют свойства, чем фильтры, изготовленные из дендритных порошков. Для очистки порошковых фильтров применяют обратную продувку или прокачку газа или жидкости, поэтому использовать такие фильтры можно многократно.

Одно из направлений развития технологии производства полуфабрикатов из некомпактной меди поддерживается Государственным

университетом цветных металлов и золота, оно основано на использовании стружки в качестве сырьевого материала².

Авторами разработки проведены эксперименты, в ходе которых из разных видов отходов меди марки М2 в сопоставимых условиях были получены прутки диаметром 8 мм. Технологическая схема при изготовлении прутков включала выполнение следующих операций:

1. Подготовку исходных компонентов к компактированию, подразумевающую их сушку, отчистку от грязи, а в некоторых случаях и проведение отжига в безокислительной среде.

2. Горячее прессование в жёсткой пресс-форме при температуре порядка 450...500°C, давлении прессования 200 МПа и времени выдержки при этом давлении в течение 5 мин.

Температура нагрева была выбрана из условия, что она должна быть выше температуры начала рекристаллизации меди (примерно 180...230⁰С в зависимости от чистоты) и ниже температуры начала ее интенсивного окисления (примерно 550...600 °С). Диаметр рабочего канала пресс-формы составлял 40 мм. Масса засыпаемых в пресс-форму отходов принималась равной 300...400 г. Давление прессования назначалось, исходя из требований превышения его значения величины предела прочности материала при заданной температуре обработки. Минимальное соотношение высоты к диаметру полученных прессовок составляло 0,6, максимальное – 1,0. Интегральная плотность прессовок в зависимости от вида прессуемых отходов колебалась в диапазоне 8,2...8,5 г/см³, что соответствовало относительной плотности порядка 90...95%.

Микроструктурные исследования полученных прессовок подтвердили сформулированные выше предположения, что в результате обычного горячего прессования составляющие прессовку фрагменты отходов, хотя и упакованы почти безззорно, находятся лишь в механическом сцеплении. Физическая связь между ними практически отсутствует, что определяет дефектность структуры материала. Исправить и улучшить её можно, если подвергнуть прессовки дополнительной пластической деформации в условиях действия всесторонних сжимающих напряжений, в результате чего между фрагментами отходов будут возникать очаги схватывания, приводящие их к объединению.

3. Нагрев прессовок до температуры порядка 900°C в стоящей рядом с прессом силой 1 МН печи, подача нагретой заготовки к прессу и горячая экструзия (выдавливание) через плоскоконическую матрицу

² По материалам доклада: Загиров Н.Н., Сидельников С.Б. Получение изделий и полуфабрикатов на основе переработки сыпучих отходов меди и ее сплавов. Особенности обработки и применения изделий из тяжелых цветных металлов. Екатеринбург, 2006. С.240-250.

прямым методом с предварительным подогревом оснастки до температуры порядка 500°C. Коэффициент вытяжки при экструзии прутка диаметром 8 мм составлял величину 32. Температура нагрева заготовок принималась равной 900...950 °С, что соответствует «верхним» значениям температурного интервала горячей обработки меди.

Ход экспериментов показал, что независимо от того, из какого вида отходов получены прессовки, все они могут экструдироваться по описанным выше технологическим режимам достаточно устойчиво.

Полученные пресс-изделия после отделения переднего слабдеформированного и заднего с пресс-утяжиной концов разрезали на несколько частей, одни из которых использовались для последующего волочения, а из других по стандартным методикам готовились образцы для изучения микроструктуры и механических характеристик.

По номерам виды отходов распределились следующим образом (рис.7. 16):

1 – вьюнообразная стружка после токарной обработки, отожжённая в безокислительной среде при 650...700°C в течение 30...45 мин;

2 – та же стружка, только слегка окисленная при отжиге и сознательно не подвергшаяся травлению;

3 – кабельная проволока в виде так называемой «путанки», находящаяся в достаточно мягком состоянии, поэтому отжигу не подвергавшаяся;

4 – нарезанные отходы листоштамповочного производства после проведения операции «вырубка» из полосовой заготовки в полутвёрдом состоянии, отжиг которых также решено было не проводить;

5 – смесь, составленная из различных видов отходов меди (в том числе не рассматриваемых отдельно, например металлических опилок и стружки после фрезерной обработки), взятых приблизительно в равных весовых долях.

Результаты механических испытаний образцов пресс-изделий, полученных из различных видов отходов, представлены в табл. 7.6. Для сравнения в табл. 7.7 приведены значения механических характеристик медных прутков по ГОСТ 1535 – 91.

Сопоставление занесённых в две таблицы цифр говорит о том, что по прочностным характеристикам все пять, а по пластическим – четыре группы пресс-изделий укладываются в требуемые по ГОСТу значения механических свойств прессованных прутков. Причём худшие результаты получены у пресс-изделий из окисленной стружки (группа 2).

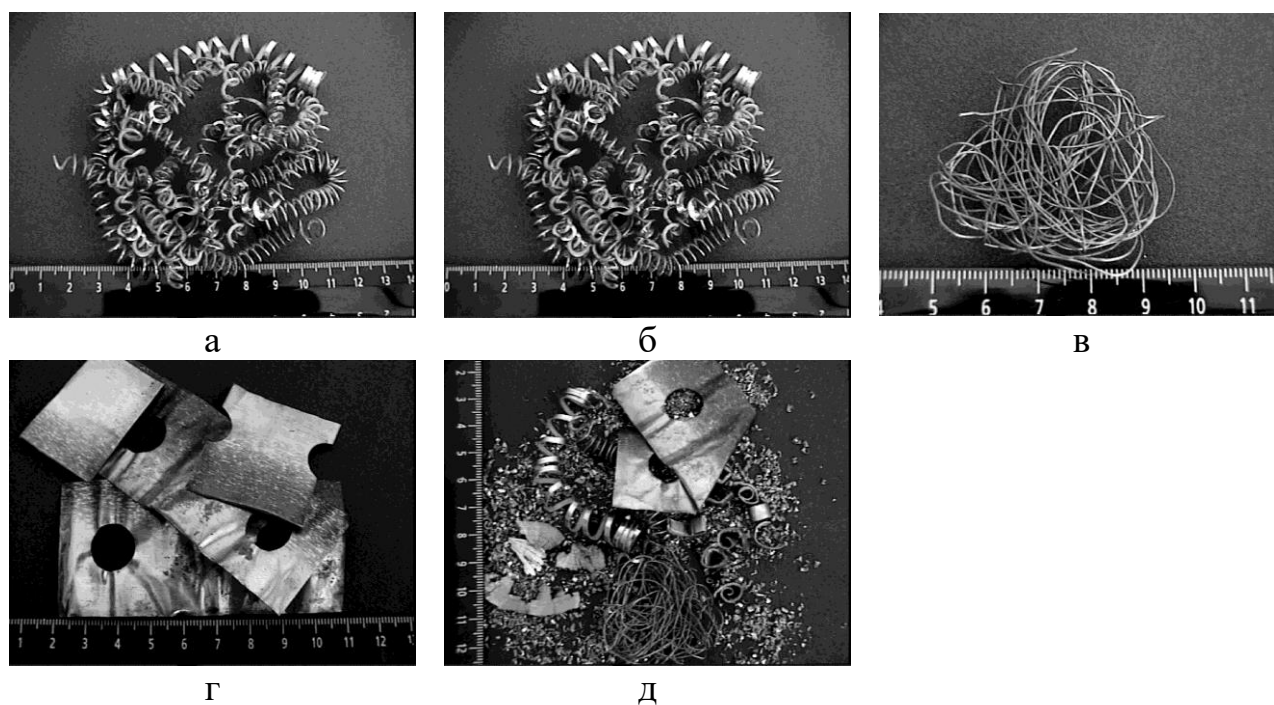


Рис. 7.16. Виды используемых в работе отходов меди

Таблица 7.6

Результаты механических испытаний на разрыв образцов пресс-изделий
из различных видов отходов

Характеристика	№ образца	Вид отходов				
		1	2	3	4	5
Временное сопротивление разрыву (предел прочности) $\sigma_{\epsilon} = \frac{P_{\text{разр}}}{F_0}, \text{МПа}$	1	255	234	260	250	260
	2	255	224	260	260	260
	3	-	234	255	260	255
	4	-	-	-	-	262
	Среднее значение	255	231	258	257	258
Относительное удлинение $\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100\%$	1	39	28	43	33	37
	2	34	20	38	34	36
	3	-	18	39	45	36
	4	-	-	-	-	38
	Среднее значение	36	22	40	37	37
Относительное сужение $\psi = \frac{F_0 - F}{F_0} \cdot 100\%$	1	62	48	75	71	62
	2	64	42	75	71	77
	3	-	45	73	77	63
	4	-	-	-	-	59
	Среднее значение	63	45	74	73	65

Для остальных четырех групп значения предела прочности и относительного удлинения находятся приблизительно на одном уровне. Об этом же свидетельствуют и данные металлографических исследований, приведённые на рис. 7.17...7.21. Анализ представленных микроструктур позволяет сделать вывод, что принципиальной разности с точки зрения формирования требуемой структуры и заданного уровня механических свойств пресс-изделий вид отходов не привносит.

Таблица 7.7

Требования, предъявляемые к механическим свойствам медных прутков по ГОСТ 1535 – 91

Способ изготовления прутков и состояние материала	Временное сопротивление σ_b , МПа, не менее	Относительное удлинение после разрыва, %, не менее	
		δ_{10}	δ_5
Тянутые мягкие	200	35	40
Тянутые полутвердые	240	10	15
Тянутые твёрдые	270	5	8
Прессованные	190	30	35

Тем не менее свои особенности структурообразования каждое полученное пресс-изделие все же имеет. Например, на образцах, исходным сырьём которых являлись отходы, обозначенные цифрой 1 (рис. 7.16, а), микроструктура представляет кристаллиты меди, имеющие четкие сопряженные границы, также наблюдаются двойники. Это говорит о том, что структура материала рекристаллизованная (рис. 7.17).

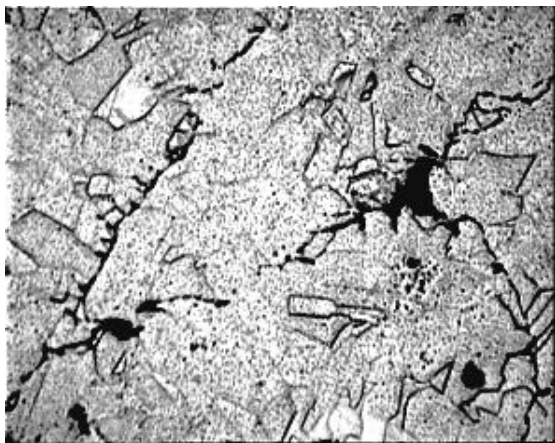


а



б

Рис. 7.17 Микроструктура прутка Ø8 мм, полученного из стружки после токарной обработки, отожжённой в безокислительной атмосфере: а – поперечный разрез; б – продольный разрез ($\times 250$)



а

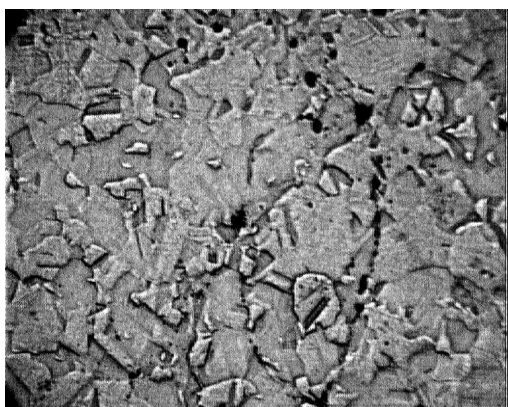


б

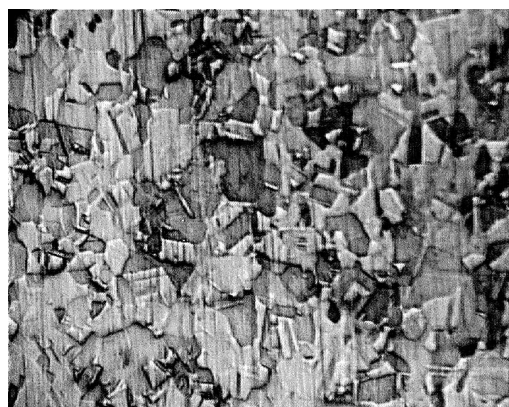
Рис. 7.18. Микроструктура прутка Ø8 мм, полученного из стружки после токарной обработки, слегка окисленной при отжиге, нетравленной: а – поперечный разрез; б – продольный разрез (× 250)

Те же рекристаллизованные зёрна наблюдаются и на образцах, из отходов, обозначенных цифрой 2 (рис. 7.16, б). Однако в этом случае в микроструктуре имеются несплошности по границам стружек, особенно в местах тройных стыков (рис. 7.18, а), которые чётко видны на поперечном сечении. На продольном разрезе образцов видны фрагменты отслоения стружек друг от друга, вытянутые вдоль направления деформации (рис. 7.18, б).

В образцах из отходов, фигурирующих под цифрой 3 (рис. 7.16, в), наблюдали места сопряжения отдельных проволочек внутри прутка. Они как бы переплетаются между собой, ложатся неровно, за счет чего образуется хотя в целом и однородное пространство, но достаточно прерывистое, что видно на рис. 7.19, а.



а



б

Рис. 7.19. Микроструктура прутка Ø8 мм, полученного из путаной кабельной проволоки: а – поперечный разрез; б – продольный разрез (×250)

В микроструктуре образцов (группа 4, рис. 7.16), изготовленных из отходов штамповочного производства, прослеживается та же картина, что и в предыдущем случае: рекристаллизованные зерна меди, отсутствие чётких границ между фрагментами отходов. И в поперечном сечении (рис. 7.20, а), и продольном сечении (рис. 7.20, б, в) на периферии прутка видны места, где имеются некоторые отслоения, что, скорее всего, связано с наличием значительных сил трения на рабочей поверхности матрицы и характером истечения металла.

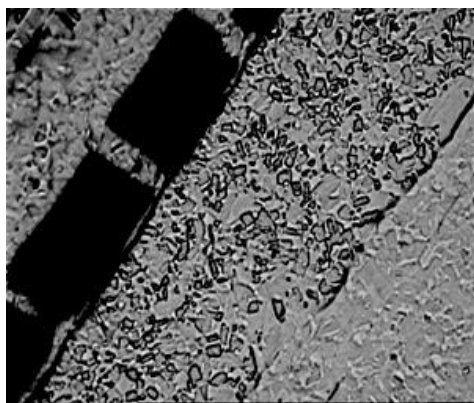
Микроструктура образцов, вырезанных из прутка, изготовленного из различных видов отходов, обозначенных цифрой 5 на рис. 7.16, также напоминает сплошной монолитный материал (рис. 7.21), при этом на поперечном (рис. 7.21, а) и на продольном (рис. 7.21, б) шлифах видны прерывистые места сопряжения отдельных фрагментов отходов. Имеет место различие по величине и ориентации зерна, наблюдаются двойники. Это говорит о том, что структура рекристаллизованная.



а

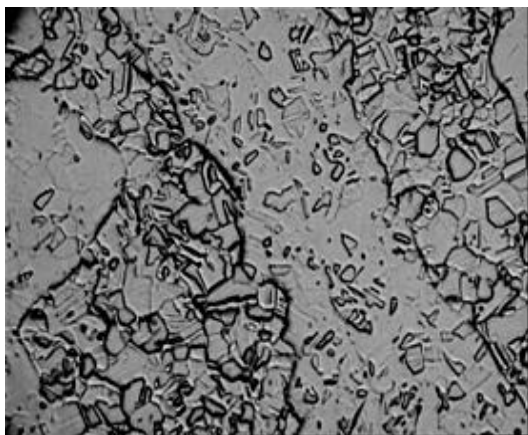


б

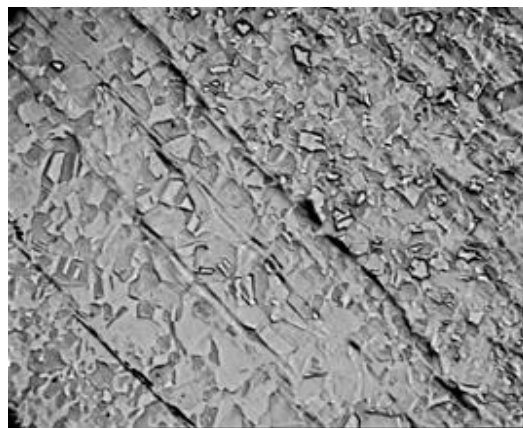


в

Рис. 7.20. Микроструктура прутка Ø8 мм, полученного из отходов штамповочного производства: а – поперечный разрез; б – продольный разрез; в – продольный разрез с краю (×250)



а



б

Рис. 7.21. Микроструктура прутка Ø8 мм, полученного из смеси различных видов отходов: а – поперечный разрез; б – продольный разрез (×250)

Результаты работы свидетельствуют о том, что технологии переработки стружки методами порошковой металлургии могут быть применены, например, для использования полученных изделий и полуфабрикатов в качестве лигатурных материалов, что может оказаться экономически обоснованно и выгодно.

1. ПАТЕНТНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ И ИНФОРМАЦИЯ В ОБЛАСТИ ОБРАБОТКИ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕДИ

8.1. Патентная классификация

Сведения, относящиеся к области производства и использования порошков меди, могут быть найдены на основе международной патентной классификации МПК. В настоящее время действует 8-я редакция МПК (International patent classification IPC, 8 Edition). В соответствии с ней интересующая тематика попадает в раздел В, имеющий название «Различные технологические процессы; транспортирование». Класс В22 имеет название «Литейное производство; порошковая металлургия». Ниже указаны более подробные сведения из классификатора МПК.

Подкласс В22F имеет название «Порошковая металлургия; производство изделий из металлических порошков; изготовление металлических порошков». Родственные объекты могут оказаться в других разделах и классах, перечисленных ниже.

- Способы или устройства для гранулирования материалов вообще – В01J 2/00;
- производство керамических масс уплотнением или спеканием С04В, например С04В 35/64;
- получение металлов С22; восстановление или разложение металлических составов вообще С22В;
- получение сплавов порошковой металлургией С22С; электролитическое получение металлических порошков С 25С 5/00.

Примечания

(1) К данному подклассу В22F отнесено производство металлического порошка только в случае получения порошка с особыми физическими свойствами.

(2) В данном подклассе используемые термины имеют следующие значения:

- "металлический порошок" – порошки со значительным содержанием металлических компонентов;
- "порошок" – смеси, состоящие из крупных частиц, которые обрабатывают или получают аналогично порошкам или которые по своим свойствам аналогичны порошкам, например волокна.

В22F 1/00 – Специальная обработка металлических порошков, например для облегчения обработки, для улучшения свойств; металлические порошки как таковые, например смеси порошков различного состава (С04, С08 имеют преимущество).

В22F 3/00 – Способы и устройства для изготовления заготовок или изделий из металлических порошков.

B22F 5/00 – Изготовление особой формы заготовок или изделий из металлических порошков.

B22F 7/00 – Изготовление составных слоистых материалов, заготовок или изделий с использованием металлических порошков путем спекания порошка с одновременным уплотнением или без него.

B22F 8/00 – Изготовление изделий из скрапа или из металлических порошковых отходов.

B22F 9/00 – Изготовление металлических порошков или их суспензий.

Как показали результаты патентных поисков, довольно значительный объем информации оказывается в другом классе МПК, это раздел «Химия; металлургия», класс C22 – Металлургия. Ниже приведены более подробные сведения о подразделении тематики МПК.

В подклассе C22C «Сплавы» используются следующие термины:

- "сплавы", которые также включают в себя:

а) металлические составные материалы, содержащие существенную часть волокон или других каких-либо удлиненных частиц;

б) керамические составы, содержащие свободный металл, связанный с карбидами, алмазом, оксидами, боридами, нитридами или силицидами, например керметы или другие соединения металлов – оксинитриды или сульфиды, кроме макроскопических армирующих агентов;

- "на основе" употребляется для сплавов, содержащих не менее 50 % (по массе) определенного компонента или определенной группы компонентов.

Сплавы меди попадают в рубрику «Сплавы цветных металлов», которая подразделена на следующие варианты:

- получение сплавов C22C 1/00, C22C 3/00;

- сплавы на основе определенных металлов C22C 5/00 - C22C 32/00.

Более точное деление указано ниже:

C22C 1/00 – Получение сплавов (способы и устройства порошковой металлургии, кроме получения сплавов B22F; электротермическим способом C22B 4/00; электролитическим способом C25C);

1/02 – плавлением ;

1/03 – с применением лигатур;

1/04 – порошковой металлургией (C22C 1/08, C22C 1/09 имеют преимущество);

1/05 – смеси металлического порошка с неметаллическим (C22C 1/08, C22C 1/09 имеют преимущество);

1/06 – с применением особых средств для рафинирования или раскисления;

1/08 – сплавы с открытыми или скрытыми порами;

1/09 – сплавы, содержащие металлические или неметаллические волокна или нити;

1/10 – сплавы с неметаллическими составляющими (С22С 1/08, С22С 1/09 имеют преимущество);

С22С 9/00 - Сплавы на основе меди

9/01 – с алюминием в качестве следующего основного компонента;

9/02 – с оловом в качестве следующего основного компонента;

9/04 – с цинком в качестве следующего основного компонента;

9/05 – с марганцем в качестве следующего основного компонента;

9/06 – с никелем или кобальтом в качестве следующего основного компонента;

9/08 – со свинцом в качестве следующего основного компонента;

9/10 – с кремнием в качестве следующего основного компонента.

Ниже приведены полученные на основе патентных обзоров сведения из технологии производства и обработки порошков на основе меди.

8.2. Способы обработки порошков меди для производства изделий электротехнического назначения

Научно-производственное предприятие "Электрон" получило патент РФ № 2058411³ на материал скользящего контакта для электрических машин на основе меди.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к спеченным материалам на основе меди. Порошковый материал на основе медно-графитовой композиции дополнительно содержит олово при следующем соотношении компонентов, мас. %: олово 3,5...6,5; медь 62...70; углерод – остальное. Олово вводится в шихту в виде порошка марки ПО1. Предлагаемый материал скользящего контакта может быть использован для изготовления щеток электрических машин, а также как антифрикционный материал.

После прессования и спекания материал имеет структуру α -твердого раствора олова в меди с включениями графита. Наличие α -твердого раствора олова в меди в меднографитовой композиции увеличивает твердость, уменьшает коэффициент трения и износ контактного материала при сохранении хорошей электропроводности. Кроме того, наличие олова вместо индия повышает экологическую безопасность материала.

Цена порошка олова в несколько десятков раз ниже стоимости порошка индия, поэтому цена готовых изделий, получаемых с применением олова, в несколько раз ниже цены изделий с применением индия.

³ Пат. 2058411 РФ, МКИ С22С9/02. Материал скользящего контакта для электрических машин на основе меди / А.А. Смирнов, В.Г. Соболев; заявитель Научно-производственное предприятие "Электрон" // Оpubл. 1996.04.20.

Предлагаемый материал может быть использован для изготовления токоъемных элементов электрических машин, а также как антифрикционный материал для изготовления деталей, работающих без смазки.

Научно-производственное малое предприятие "Экстек" получило патент РФ № 2073736⁴ на спеченный электроконтактный материал на основе меди.

Сущность изобретения: предложенный материал дополнительно содержит частицы алмаза дисперсностью менее 2 мкм при следующем соотношении компонентов, мас. %: кадмий 0,5...1,5; частицы алмаза дисперсностью менее 2 мкм 0,5...3,0; медь – остальное. Для получения спеченного электроконтактного материала использован алмазный порошок фракции менее 2 мкм. Как известно, для мелкозернистых материалов (дисперсно упрочненных) характерны высокая износостойкость, равномерный износ поверхности контактов, низкая прочность перемычек, образовавшихся при сваривании контактов.

Материал изготавливают из порошков меди, кадмия и частиц алмаза смешиванием в шаровой мельнице в течение часа с дальнейшим прессованием смеси, при удельном давлении 200...300 МПа. Прессованные образцы контактов подвергают отжигу при температуре 930...950°C в течение 1 ч. При температурах ниже 930°C образцы не спекаются, а при температурах выше 950°C происходит графитизация алмаза.

Предложенный материал имеет прочность в 1,02...1,13 и твердость в 1,6...1,9 раза выше, чем прочность и твердость известного материала.

При добавлении в материал частиц алмаза менее чем 0,5 мас. % твердость возрастает незначительно, а прочность практически остается неизменной. При повышении содержания частиц алмаза свыше 3 мас. % существенно возрастает удельное сопротивление электроконтакта, что в конечном счете приводит к большим омическим потерям электроэнергии. Поэтому оптимальным содержанием алмазных частиц в смеси является 0,5...3,0 мас. %.

Контакты, полученные из предложенного материала, предлагается использовать на Саянском алюминиевом заводе (СААЗе) в пусковых аппаратах. Режим эксплуатации контактов следующий: включение тока до 3000 А, длительный ток 400 А, кратковременный ток 1000 А. Контакты из предложенного материала могут найти применение в электротехнической, машиностроительной, металлургической и других отраслях промышленности для электрических аппаратов вместо применяемых в настоящее время серебросодержащих контактов.

⁴ Пат. 2073736 РФ, МКИ С22С9/00. Спеченный электроконтактный материал на основе меди / В.В. Иванов, В.И. Кирко; заявитель Научно-производственное малое предприятие "Экстек" // Опубл. 1997.02.20.

Российские изобретатели Н.Л. Правоверов и Ю.Г. Колонин получили патент РФ № 2009562⁵ на спеченный материал на основе меди для коммутирующих контактов. Предложен спеченный материал на основе меди для коммутирующих контактов следующего состава, мас.‰: карбид титана 7...13; ниобий 1,5...5 или пятиокись ниобия 2,5...7,6; по крайней мере, один компонент, выбранный из группы, содержащей кадмий, цинк, олово, окись кадмия, окись цинка, двуокись олова, кобальт, графит 0,5...3; медь – остальное.

Российским изобретателям Н.А. Волкову и А.И. Барковскому выдан патент РФ № 2083713⁶ на спеченный материал на основе меди для электрических контактов и способ его изготовления.

Целью изобретения является повышение технологических свойств шихты, а также повышение коммутационной износостойкости спеченного материала, изготовленного из нее. Указанная цель достигается тем, что спеченный материал на основе меди содержит, по крайней мере, один компонент, выбранный из группы: кадмий, никель, олово, цинк, графит. Материал также дополнительно содержит ванадий при следующем соотношении компонентов, мас.‰: 5,0...15,0 ванадия; 0,3...3,0, по крайней мере, одного компонента, выбранного из группы: кадмий, никель, олово, цинк или графит, медь – остальное. Предложенный материал имеет коммутационный износ (9,4...19,7)10⁻⁶ г/цикл. Указанная цель достигается также тем, что при изготовлении спеченного материала на основе меди, содержащего никель, в качестве связующего используют безводный уксуснокислый никель, а перед гранулированием шихту увлажняют. При этом шихта имеет текучесть 5,0...6,8 г/с.

Группе российских изобретателей выдан патент РФ № 2088682⁷ на спеченный композиционный медно-графитовый материал и способ его изготовления.

Изобретение относится к области порошковой металлургии, в частности к медно-графитовым композиционным материалам и способам их изготовления, и может быть использовано при производстве электрощеточных материалов, в частности для контактных вставок токоприемников электровозов, метропоездов и другого городского электрифицированного транспорта.

⁵ Пат. 2009562 РФ, МКИ H01N1/02, C22C9/00. Спеченный материал на основе меди для коммутирующих контактов / Н.Л. Правоверов, Ю.Г. Колонин; заявитель они же // Оpubл. 1994.03.15.

⁶ Пат. 2083713 РФ, МКИ C22C9/00. Спеченный материал на основе меди для электрических контактов и способ его изготовления / Н.А. Волков, А.И. Барковский Т.В. Волкова; заявитель Н.А. Волков, А.И. Барковский // Оpubл. 1997.07.10.

⁷ Пат. 2088682 РФ, МКИ C22C1/05. Спеченный композиционный медно-графитовый материал и способ его изготовления / И.С. Гершман, Н.Н. Репников, Р.К. Чужко и др.; заявитель: они же // Оpubл. 1997.08.27.

Материал согласно изобретению имеет следующий состав, мас. %: частицы графита 6,3...60,0; по крайней мере, один карбид металла IV-VI групп 15...60, медь или ее сплавы – остальное. В качестве металлов IV-VI групп используют титан, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, хром, молибден и вольфрам. Материал может дополнительно содержать пироуглерод в виде матрицы в количестве 0,6...22,2 мас. % и короткие углеродные волокна с длиной не более 5 мм и диаметром не более 8 мкм в количестве 0,1...4,2 мас. %. Карбиды металлов IV-VI групп нанесены на частицы графита и короткие углеродные волокна в виде не образующего несплошностей покрытия. Частицы графита могут быть выполнены в форме плоских дисков с диаметром не более 250 мкм и толщиной 6...20 мкм. Медь или ее сплавы могут содержаться в материале в виде матрицы.

Способ получения вышеописанного спеченного медно-графитового материала включает смешение частиц графита, плакированных карбидом, по крайней мере, одного металла IV-VI групп периодической системы с порошками меди или ее сплавов, формование из готовой смеси материала путем одноосного прессования со связующим и спекание материала при температуре выше температуры плавления меди. В процессе смешения добавляют короткие углеродные волокна. После проведения процесса спекания проводят насыщение пироуглеродом для получения пироуглеродной матрицы. Предпочтительный вариант: насыщение проводится из смеси метана и водорода при 1028...1065°C при остаточном давлении 2...30 торр.

Тульский политехнический институт получил патент РФ № 1358424⁸ на спеченный материал на основе меди для электродов контактной сварки.

Материал дополнительно содержит карбид титана при следующем соотношении компонентов, мас. %: хром 0,4...1,0; карбид титана 1...6; медь – остальное. За счет изменения химического состава улучшена стойкость электродов.

Фирма YAMANA CORP получила патент Японии JP2005194566⁹ на порошок композиционного состава вольфрам-медь и метод его обработки.

Равномерное распределение вольфрама в меди достигается специальным устройством каждой частицы (рис. 8. 1), имеющей композиционное строение. Частица 5 включает один или более слоев 3, состоящих из центральной части 1, представляющей медь, и оболочки 2 из вольфрама, покрывающей более 50 % поверхности меди, при этом не

⁸ Пат. 1358424 РФ, МКИ C22C9/06. Спеченный материал на основе меди для электродов контактной сварки / Е.М.Гринберг, В.И.Котенев, Ф.В.Чиркова и др.; заявитель: Тульский политехнический институт // Оpubл. 2000.01.20.

⁹ Pat. JP2005194566, МКИ B22F1/02; B22F3/02; C22C1/04; C22C27/04; B22F1/02; B22F3/02; C22C1/04; C22C27/00. Tungsten-copper composite powder, its production method, and method of producing sintered alloy using the same / AOSHIMA TAKUO; заявитель YAMANA CORP // Оpubл. 27.07.05.

менее 90 % поверхности полученной частицы покрыто слоем меди или медного сплава 4.

Московский институт порошковой металлургии получил патент РФ № 2126457¹⁰ на спеченный материал для токосъемных скользящих контактов. Использование изобретения предполагается в порошковой металлургии для изготовления контактных вставок для токосъема с контактного провода. Спеченный материал для токосъемных скользящих контактов содержит, мас. %: графит 8...18, медь 20, железо – остальное. Материал является экологически чистым и обладает наряду с хорошими антифрикционными свойствами высокими прочностью и

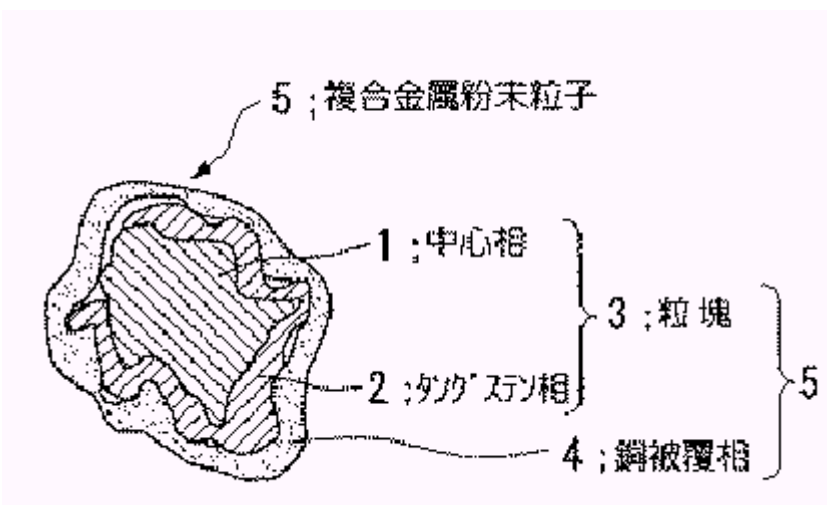


Рис. 8. 1. Строение частицы порошка в соответствии с патентом Японии JP2005194566 фирмы YAMANA CORP(сохранена нумерация первоисточника, пояснения в тексте)

износостойкостью, а также способностью стабильно работать при любых погодных условиях.

Научно-исследовательский физико-технический институт при Красноярском государственном университете получил патент РФ № 2131940¹¹ на способ изготовления спеченного материала на основе меди для электроконтактов.

Изобретение относится к области цветной металлургии, в частности к получению электроконтактных материалов методами порошковой металлургии. Способ заключается в том, что на стадии подготовки шихты

¹⁰ Пат. 2126457 РФ, МКИ С22С33/02. Спеченный материал для токосъемных скользящих контактов / В.С.Есенбеков, Ю.В.Манегин, В.В.Цветков и др.; заявитель: Институт порошковой металлургии // Оpubл. 1999.02.20.

¹¹ Пат. 2131940 РФ, МКИ С22С1/04. Способ изготовления спеченного материала на основе меди для электроконтактов / В.В. Иванов; заявитель: Научно-исследовательский физико-технический институт при Красноярском государственном университете // Оpubл. 1999.06.20.

для прессования заготовок к исходному порошку меди добавляют органический полимер в виде раствора, который после пиролиза в результате последующей термообработки дает равномерно распределенный в медной матрице высокодисперсный углеродный остаток (количество полимера 0,2...1,2 мас.% в пересчете на остаток). Такое введение углерода позволяет изготовить электроконтакты с низким и стабильным переходным сопротивлением.

Улучшение эксплуатационных характеристик контактов в этом случае происходит по следующим причинам. Как известно, реальная площадь контактирования соприкасающихся поверхностей составляет десятые и даже сотые процента от видимой площади, и контакт происходит в отдельных малых областях (контактных пятнах). Существо изобретения заключается в реализации высокодисперсной и однородной структуры композиционного электроконтакта, чтобы при этом в область определяющей доли контактных пятен попадали участки, содержащие углерод. В процессе работы контакта под током контактные пятна нагреваются, как известно, до нескольких сот градусов, углерод восстанавливает оксиды меди на этих участках до металлической меди и переходное сопротивление остается относительно низким и стабильным. Высокодисперсная и однородная структура композиционного электроконтакта реализуется вследствие термолиза полимерной пленки, образующейся после смешивания порошков с раствором полимера и обволакивающей каждую частицу шихты. Термолиз полимера происходит в процессе последующей термообработки и приводит к образованию ультрадисперсного углеродного остатка, равномерно распределенного в матрице контакта и способствующего, с одной стороны, существенному снижению межконтактного переходного сопротивления и повышению его стабильности, а с другой стороны – повышению способности контактов противостоять свариванию. При одинаковом содержании углерода в материале уменьшение размеров углеродных частиц ведет к повышению одного из основных качеств электроконтактов – их стойкости против сваривания. При этом технология изготовления должна обеспечивать получение низкопористого материала с максимально высокой плотностью.

Необходимо отметить, что полимер, введенный в шихту в виде раствора, служит также, помимо основного назначения, эффективной связкой в процессе грануляции шихты, что обеспечивает хорошую ее текучесть и равномерное заполнение прессовочной матрицы при автоматическом прессовании. Указанное количество добавки к меди выбрано с точки зрения свойства контактов: при меньшем содержании добавки ее влияние проявляется слабо, а при большем – наблюдается существенное ухудшение механических свойств материала, становящегося хрупким.

Для осуществления способа получения спеченных высокоплотных контакт-деталей заданного состава компоненты шихты (порошковая медь и раствор полимера), взятые в необходимой пропорции, перемешивают в смесителе в течение 10...15 мин, после чего растворитель выпаривают до влажности 7...12% и затем шихту гранулируют путем протирки через сито. Далее прессуют заготовки контакт-деталей в стальной пресс-форме при оптимальном давлении 1...2 Кбар. Меньшее давление не обеспечивает необходимой плотности образцов, а большее давление приводит к их вспучиванию в процессе дальнейшей термической обработки.

Следующую далее термическую обработку проводят с целью термолиза полимера при 400...700°C. Более низкая температура не обеспечивает достаточной завершенности процесса термолиза, а более высокая нецелесообразна из-за снижения эффективности дальнейшего спекания. В результате удаления продуктов термолиза в материале существенно возрастает объемная доля пор, так что для повышения эффективности спекания требуется подпрессовка образцов, которая проводится также в стальных прессформах при удельных давлениях 5...7 кбар. Давления вне этого интервала не дают необходимой на этой технологической стадии плотности и пористости.

Спекание подпрессованных заготовок проводят в течение 1...2 ч в интервале 750...1050°C. При температурах менее 750°C спекание неэффективно, а выше 1050°C нецелесообразно из-за возможности оплавления образцов.

Допрессовка имеет основной целью достижение максимальной плотности материала за счет снижения остаточной пористости и производится в тех же стальных пресс-формах при давлениях 10...14 кбар. При меньших давлениях пористость все еще достаточно велика, а при давлениях, больших 14 кбар, не происходит дальнейшего возрастания плотности. Далее следует заключительный отжиг допрессованных заготовок при 400...600°C в течение 0,5...1,0 ч. После завершения всех технологических операций плотность материала контактов достигает 8,1...8,5 г/см³, твердость НВ=50...55, удельное сопротивление 2,2...2,8 мкОм*см.

Научно-исследовательский физико-технический институт Красноярского государственного университета получил патент РФ № 2208654¹² на спеченный электроконтактный материал на основе меди.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к спеченным материалам на основе меди для электрических контактов,

¹² Пат. 2208654 РФ, МКИ С22С9/00. Спеченный электроконтактный материал на основе меди / Ю.И. Гордеев, Г.М. Зеер, А.А. Букаемский; заявитель Научно-исследовательский физико-технический институт Красноярского государственного университета // Оpubл. 2003.07.20.

используемых в низковольтных электрических аппаратах, коммутирующих цепи постоянного и переменного тока до 100 А.

Предложен спеченный электроконтактный материал на основе меди, содержащей ультрадисперсный порошок оксида цинка дисперсностью не более 0,006 мкм и алюминий при следующем соотношении компонентов, мас. %: ультрадисперсный порошок оксида цинка 1...5; алюминий 0,001...0,005; медь – остальное. Техническим результатом изобретения является снижение коммутационного износа при длительном включении и сохранении необходимого уровня механических и эксплуатационных свойств.

Спеченный электроконтактный материал изготавливался по следующей технологической схеме. Вначале приготавливали лигатуру из порошков меди, алюминия и оксида цинка, так как ультрадисперсные порошки имеют склонность к образованию прочных агломератов. Для исключения склонности ультрадисперсных порошков к образованию прочных агломератов и возможности образования плохо проводящего электрический ток и снижающего теплообмен оксидного каркаса, а также для более равномерного распределения их в металлической матрице оксид цинка добавляли в исходную шихту в виде смеси с порошками меди и алюминия. Оптимальное содержание лигатуры медь-алюминий по отношению к основному матричному материалу – меди составило 4 мас. % (в соотношении 4/96). Соотношение меди и алюминия выбрано как 94/6, так как при нагреве до 600°C порошковой смеси данного состава появляется экзотермический эффект с образованием алюминиевой бронзы. Экзотермическая реакция в системе медь-алюминий, протекающая при температуре ниже температуры спекания основного материала (меди), формирует в процессе нагрева лигатуры медь-алюминий тонкую прослойку алюминиевой бронзы, в которой распределяются ультрадисперсные частицы оксида цинка.

Далее следует приготовление шихты (из порошков матричного материала – меди и лигатуры из порошков меди, алюминия и оксида цинка) в шаровой мельнице с пластификатором. В качестве пластификатора использован 4%-ный водный раствор поливинилового спирта. Далее следуют гранулирование, прессование в жесткой матрице при удельном давлении 100 МПа, предварительное спекание в вакууме при температуре 540°C для удаления пластификатора. Окончательное спекание проводили в вакууме при температуре 860°C и времени изотермической выдержки 2...3 ч. После этого производили калибрование при удельном давлении 800...1000 МПа, отжиг в вакууме или на воздухе при температуре 500°C для снятия остаточных напряжений.

Испытания спеченных электроконтактных материалов проводили в соответствии с требованиями ТУ 16-685.020-85 "Контакт-детали металлокерамические". При этом контролировались значения удельного

электросопротивления, относительной плотности, твердости по Виккерсу, прочности напайного соединения в контакте держателем. Эксплуатационные характеристики и работоспособность материалов измерялись на автоматическом выключателе ВА 57-35. Все виды испытаний проводились на базе Дивногорского завода низковольтной аппаратуры (ДЗНВА) по планам двухступенчатого нормального контроля по ГОСТ 18242-72 с использованием методик определения твердости по ГОСТ 2999-75, удельного электросопротивления ТУ 16.685.020-85, измерения превышения температуры по ГОСТ 300011.2-88, испытания на срабатывание в условиях короткого замыкания на стенде калибровки электромагнитных расцепителей ВА 57-39 (ДЗНВА), интенсивности изнашивания по методике ОАА 688.004-69 (ДЗНВА). Испытания на сопротивление срезу по плоскости пайки контакта к контактодержателю по методике ТУ 16-685.020-85.

По условиям испытаний на коммутационный износ спеченные электроконтактные материалы наработали 4000 циклов "включение-выключение". Коммутационный износ предлагаемого спеченного электроконтактного материала не превысил 0,0910...6 г/цикл, что соответствует требованиям ТУ.

На выводах выключателей ВА 57-39 с предлагаемыми материалами контактной пары замеряли превышение температуры. В соответствии с методикой ДЗНВА испытывали одновременно 3 выключателя, на каждый из них подавался в течение 4 ч ток 160 А. Температура на зажимах главной цепи не превысила 80°C, что соответствует требованиям ГОСТ Р 50 345-92 в области допустимых значений превышения температуры при испытаниях. Дополнительно был проведен цикл испытаний по превышению температуры после испытаний на предельную коммутационную способность при температуре испытаний 40°C. Таким образом, электроконтактный материал на основе меди имеет требуемый уровень эксплуатационных характеристик при одновременном снижении стоимости и пригоден для использования в неподвижных контактах автоматических выключателей вместо материалов на основе серебра (Ag-CdO) в диапазоне токовых нагрузок до 100 А.

Китайский институт HARBIN INST OF TECHNOLOGY получил патент Китая CN1483535¹³ на способ получения электрода из порошка на основе меди. В качестве исходных материалов применяют порошки меди и хрома или вольфрама и меди. Первый этап состоит в механическом перемалывании шарами исходных материалов для изготовления порошка. На втором этапе осуществляют холодное прессование с получением

¹³ Pat. CN1483535 Китай, МКИ В22F3/16; С22С1/04; С22С9/00; В22F3/12; С22С1/04; С22С9/00. Method for preparing copper base electrode powder deformation compound material / WANG ERDE (CN); HU LIANXI (CN); YU YANG (CN); заявитель HARBIN INST OF TECHNOLOGY // Оpubл. 24.03.04.

заготовки. На третьем этапе производят вакуумное спекание в состоянии твердой фазы. Четвертый этап состоит в горячем экструдировании при использовании смеси графита и стекла при объемном их соотношении 8:2,5; давлении 1000...1500 МПа и времени 3...5 с.

Патентом РФ №2244037¹⁴ защищен низкоомный материал с улучшенной рабочей характеристикой износа, предназначенный для передачи электрического тока, и способ его получения. Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к получению электроконтактных материалов. Предложен медно-графитовый композиционный материал. Для получения материала использован порошок меди чистотой 99,9% и порошок графита с размером частиц не более 5 мкм. Медная матрица имеет сетчатую структуру со сквозными порами. Некоторые из пор (рис.8. 2) содержат графит с обеспечением микроструктуры включений графита. Значение параметра по “Международному стандарту на отожженную медь”, по меньшей мере, 40 %. Плотность материала составляет не менее 6,0 г/см³. При получении осуществляют очистку и отжиг порошка меди. Затем порошки меди и графита смешивают. Проводят двустороннее прессование при 500-1600 МПа и спекание при 960...1100°С.

Медно-графитовый композиционный материал, полученный путем смешивания порошков меди и графита, прессования и спекания, отличающийся тем, что использован порошок меди чистотой 99,9% и порошок графита с размером частиц не более 5 мкм, причем материал имеет медную матрицу сетчатой структуры с множеством сквозных пор, некоторые из которых содержат графит для обеспечения микроструктуры включений графита в медной матрице, при этом значение электропроводности IACS составляет не менее 40 %, а плотность полученного материала не менее 6,0 г/см³.

¹⁴ Пат. 2244037 РФ, МКИ С22С9/00, С22С1/05, С22С1/08. Низкоомный материал с улучшенной рабочей характеристикой износа, предназначенный для передачи электрического тока, и способ его получения / ХЕ Да Хай; МАНОРИ Рафаэль Р.; ГРЕЙДИ Норман Дж., СИНКИС Гарри, ПАЧЕКО Клим; заявители ВИКТОРИЭН РЭЙЛ ТРЭК, ХЕ Да Хай, МАНОРИ Рафаэль Р. // Оpubл. 10.08.03.



Рис. 8.2. Структура низкоомного материала по патенту РФ № 2244037 фирмы ВИКТОРИЭН РЭЙЛ ТРЭК

Порошок меди перед смешиванием с графитом подвергнут очистке и отжигу в регулируемой атмосфере. Размер частиц порошка меди составляет примерно 2,5 мкм. Перед смешиванием его очищают и отжигают в восстановительной атмосфере, осуществляют двустороннее прессование при давлении 500...1600 МПа, а спекание проводят при температуре 960...1100°C.

Очистку осуществляют путем одного или более этапов магнитной сепарации, электростатической сепарации или сепарации центрифугированием. В качестве восстановительной атмосферы используют монооксид углерода, водород, конвертированный природный газ, восстановительные эндотермические или экзотермические смеси природного газа и/или смеси любого из этих газов с химически менее активным газом. При проведении отжига температуру повышают до 600...850°C.

Динамическое прессование осуществляют при частоте ударного воздействия 150...250 Гц. Спекание проводят в неокислительной атмосфере. В качестве неокислительной среды используют восстановительную атмосферу, содержащую смесь водорода и азота. В другом варианте в качестве неокислительной атмосферы используют монооксид углерода, водород, конвертированный природный газ, восстановительные эндотермические или экзотермические смеси природного газа и/или смеси любого из этих газов с химически менее активным газом. Объектом применения порошка является токосъемник

пантографа для трамвая или поезда, а также в целом устройство для передачи электроэнергии между проводниками, движущимися относительно друг друга.

Техническим результатом является повышение плотности и удельной электропроводности, увеличение срока службы.

Уральскому научно-исследовательскому институту композиционных материалов выдан патент РФ № 2161084¹⁵ на дисперсно-упрочненный композиционный материал.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к дисперсно-упрочненным материалам на основе меди, и может быть использовано для изготовления электродов контактной сварки. Дисперсно-упрочненный материал содержит медь, алюминий, углерод и гидрид титана при следующем соотношении компонентов, мас. %: алюминий 0,15...0,75; углерод 0,15...0,35; гидрид титана 0,30...0,75; медь – остальное.

Введение в состав композиционного интервала гидрида титана (TiH₂) значительно повышает физико-механические характеристики материала, повышает стойкость и прочность, позволяет получить полуфабрикаты высокого качества и снизить себестоимость продукции.

Гидрид титана, содержащий 3,4...3,6% водорода, является хорошим восстановителем. В данном случае совместно с углеродом при механическом легировании и особенно при нагреве в электропечи в атмосфере воздуха он играет роль газопоглотителя, отбирает излишний кислород и защищает медную матрицу от окисления.

Плиту в виде гранул получали механическим легированием компонентов в аттриторе емкостью 45 л.

Холодное прессование брикетов из гранул в виде цилиндров диаметром 50...70 мм, длиной 150...200 мм, снаружи по периметру обернутых медной фольгой с плотностью 6,7...7,0 г/см³ осуществляли в металлической пресс-форме при давлении 700...600 МПа. Полученные брикеты нагревали в электропечи в атмосфере воздуха при температуре 820...850°C, затем деформировали (экструдировали) в металлической оснастке с подогревом на диаметр 17,5...34 мм с коэффициентом вытяжки 15...20. Плотность прутков составляла 8,6...8,7 г/см³. Для экспериментальной проверки заявляемого материала были подготовлены 27 составов брикетов с различным соотношением алюминия, углерода, гидрида титана и меди.

При содержании гидрида титана менее 0,3 мас. % твердость и предел прочности практически не увеличиваются по сравнению с материалом прототипа. Содержание гидрида титана более 0,75 мас. % нецелесообразно

¹⁵ Пат. 2109834 РФ, МКИ С22С9/01. Дисперсно-упрочненный композиционный материал / С.Д. Куимов; В.Н. Коноплев; А.В. Коноплев и др.; заявитель Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов // Оpubл. 1998.04.27.

ввиду того, что уровень физико-механических характеристик не увеличивается, а остается прежним. Наиболее высокие характеристики композиционный материал имеет при содержании гидрида титана в нем 0,5...0,75 мас.%. При таком содержании гидрида титана наблюдается наиболее высокие значения прочности и стойкости полуфабрикатов при отсутствии дефектов.

Для производственных испытаний, с целью определения стойкости заявленного материала при контактной сварке шины мотопилы "Урал" была изготовлена опытная партия полуфабриката диаметром 17,5 мм и 22 мм.

Научно-техническая фирма "Техма" получила патент РФ № 2118393¹⁶ на дисперсно-упрочненный материал для электродов контактных сварочных машин.

Материал содержит следующие компоненты, мас.%: титан 0,6...1,2; углерод 0,3...0,8; алюминий 0,1...0,3; медь – остальное. Техническим результатом является создание материала с пониженной скоростью взаимодействия с расплавленными металлом и повышенным ресурсом работы электродов, изготовленных из него при контактной сварке предварительно покрытых сталей (ППС), особенно с легкоплавкими покрытиями, такими как цинк, олово, свинец, алюминий, кадмий и т.п.

Одной из основных причин низкой стойкости электродов при сварке ППС является взаимодействие расплавленного материала покрытия с материалом электрода, при котором происходит их взаимный массоперенос. Материал изготавливается из смеси порошков указанных компонентов по известной технологии, предполагающей механохимическую активацию в высокоэнергетической шаровой мельнице, холодное компактирование полученного продукта (гранул) в брикеты и последующую их экструзию в пруток или профиль при температуре 850 °С. Отличием заявляемого материала от прототипа является дополнительное введение в него алюминия при одновременном уменьшении содержания титана и увеличении содержания углерода. Как показали исследования, это позволяет значительно уменьшить скорость взаимодействия материала с расплавленными металлами покрытий ППС, что стабилизирует переходное сопротивление в контакте "электрод-деталь" и повышает стойкость электродов из заявляемого материала при комнатной сварке ППС.

По указанным выше технологиям были изготовлены прутки диаметром 17 мм из материала-прототипа и заявляемого материала. При этом для получения заявляемого материала были приготовлены 72 состава

¹⁶ Пат. 2118393 РФ, МКИ С22С9/01, С22С1/10. Дисперсно-упрочненный материал для электродов контактных сварочных машин / Е.П. Шалунов, А.Л. Матросов, Я.М. Липатов; заявитель Научно-техническая фирма "Техма"// Оpubл. 1998.08.27.

порошковой смеси с содержанием в ней 0,1; 0,2; 0,3 мас.% алюминия; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 мас.% титана и 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 мас.% углерода.

Из полученных прутков материала-прототипа и заявляемого материала, а также бронзы БрХЦр были изготовлены электроды контактной сварки по ГОСТ 14111-90, которые были подвергнуты испытаниям на стойкость при контактной сварке оцинкованной стали типа А01. Испытания проводились на контактном устройстве точечной машине МТ-1215.

Критерием оценки качества материалов служило количество сваренных точек, полученных до увеличения контактной поверхности электродов на 20%. Кроме этого, в процессе испытаний через каждые 500 точек измерялось переходное сопротивление контакта "электрод-деталь", по полученным показателям оценивали скорость взаимодействия электродного материала с материалом покрытия.

На рис. 8.3 представлены типичные графики зависимости относительного изменения переходного сопротивления контакта "электрод-деталь" R_n/R_o от количества сваренных точек для различных материалов электрода. Здесь R_o – начальное переходное сопротивление контакта, R_n – переходное сопротивление контакта после сварки n точек.

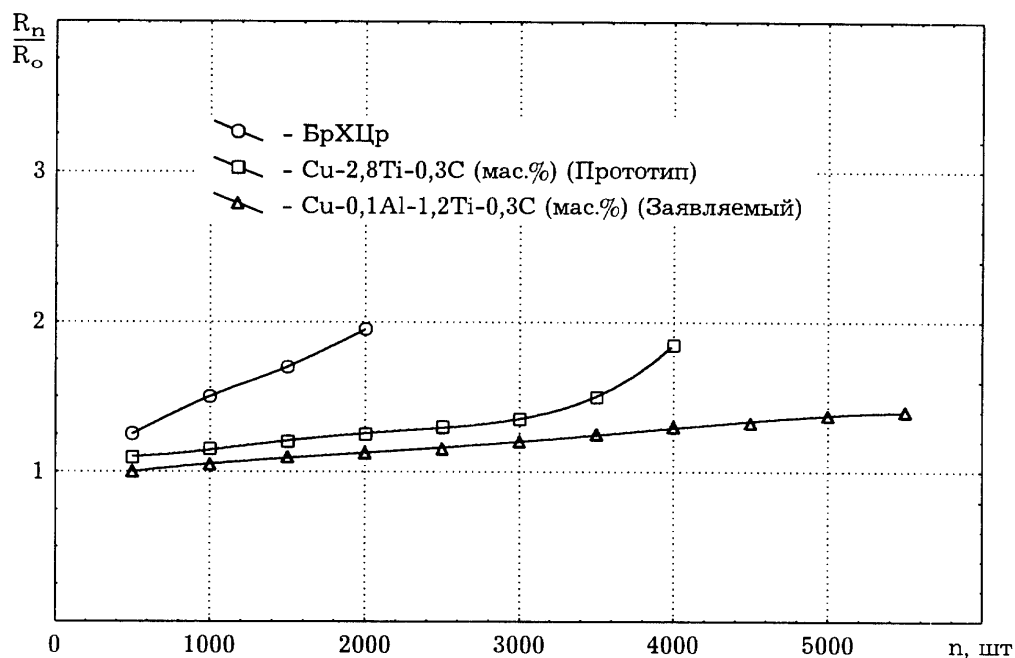


Рис. 8.3. Зависимости относительного изменения переходного сопротивления контакта "электрод-деталь" от количества сваренных точек по патенту РФ №2118393

Из указанных графиков видно, что изменение переходного сопротивления контакта "электрод-деталь", а значит и скорость взаимодействия электродного материала с материалом покрытия, при сварке электродами из заявляемого материала значительно меньше, чем при сварке электродами из материала-прототипа и тем более из БрХЦр. Этим обстоятельством обусловлен высокий ресурс электродов из заявляемого материала при сварке ППС. Дополнительное введение алюминия в материал системы Cu-Ti-C с одновременным уменьшением в нем содержания титана и увеличением содержания углерода позволяет стабилизировать переходное сопротивление в контакте "электрод-деталь" и уменьшить скорость взаимодействия электродного материала с материалом покрытия. Электроды контактной сварки, изготовленные из него, имеют более высокий ресурс работы при сварке ППС, чем электроды из известных материалов.

Патентом СССР №1586011¹⁷ защищен способ изготовления электрических контактов. Способ изготовления электрических контактов включает прессование формовки из порошка металла группы железа, прессование пропиточного брикета из материала, содержащего висмут, размещение пропиточного брикета на формовке, расплавление пропиточного брикета, пропитку в защитной атмосфере и охлаждение. С целью повышения качества контактов формовку прессуют с одной стороны, материал пропиточного брикета дополнительно содержит медь при следующем содержании компонентов, мас. %: медь – 85...95; висмут – 5...15. Размещают пропиточный брикет над более плотной частью формовки, а охлаждают со скоростью не более 4 град/мин.

Патент РФ №2245846¹⁸ получен Институтом химии твердого тела Уральского отделения РАН на оксидную ванадиевую бронзу, способ ее получения и применение в качестве магнитного или электродно-активного материала.

Изобретение относится к получению нового соединения, а именно к получению оксидной ванадиевой бронзы перовскитоподобного типа. Заявлена оксидная ванадиевая бронза состава $M_{0,25}Cu_{0,75}VO_3$, где М – одно-, или двух- или трехвалентный металл. Способ ее получения заключается в том, что смесь исходных веществ, взятых в стехиометрическом соотношении, термически обрабатывают при

¹⁷ Пат. 1586011 СССР, МКИ В22F3/26. Способ изготовления электрических контактов / Г.С.Белкин, В.Н.Голубев, И.А.Тихомиров, Р.А.Червоненкис, Б.М.Юрков; заявитель: Всесоюзный электротехнический институт // Оpubл. 29.12.88

¹⁸ Пат. 2245846 РФ, МКИ C01G31/00, В22F3/14, H01F1/00, H01M4/48. Оксидная ванадиевая бронза, способ ее получения и применение в качестве магнитного или электродно-активного материала / В.Л.Волков; Ю.Г.Зайнулин; Н.И.Кадырова; Г.С.Захарова; заявитель: Институт химии твердого тела Уральского Отделения Российской Академии наук // Оpubл. 10.02.05

температуре 1000...1300°C и давлении 60...90 кбар. Заявлено применение оксидной ванадиевой бронзы состава $M_{0,25}Cu_{0,75}VO_3$ в качестве магнитного и электродно-активного материала. Техническим результатом изобретения является получение нового соединения, обладающего свойствами, позволяющими использовать его как магнитный и электродно-активный материал.

Предлагаемый способ получения новой оксидной ванадиевой бронзы заключается в следующем. Готовят исходную смесь веществ, взятых в стехиометрическом соотношении. Берут порошки ванадата одно-, двух- или трехвалентного металла, закиси меди или закиси меди и металлической меди, оксида ванадия и тщательно перемешивают в агатовой ступке. Полученную смесь помещают в платиновый контейнер и нагревают до температуры 1000-1300°C и давления 60...90 кбар в течение 10...15 минут. После охлаждения контейнера и снижения давления до атмосферного вынимают готовый продукт черного цвета. Готовый продукт подвергают рентгенофазовому и структурному анализу. Измеряют электропроводность на постоянном токе и магнитную восприимчивость.

Бронза может быть использована в качестве электродно-активного материала при производстве электрохимических устройств или в качестве магнитного материала.

Патентом РФ №2219079¹⁹ защищен зажим для многожильных проводов контактной сети и способ его получения. Зажим предназначен для соединения и/или скрепления многожильных проводов контактной сети железнодорожного транспорта. Зажим содержит плашки, которые имеют контактную поверхность и болтовые соединения. Плашки выполнены из композиционного порошкового материала на основе железа с добавками меди, никеля, фосфора и углерода при следующем соотношении компонентов, мас. %: железо 92,9...96,0; медь 2,0...4,0; никель 1,0...2,0; фосфор 0,2...0,5; углерод 0,5...0,6.

Контактная поверхность плашек выполнена из порошка меди или из порошка медного сплава.

Зажим содержит две плашки 1 и 2 (рис.8. 4), соединенные болтами 3. В обеих плашках образованы желоба для размещения в них многопроволочных проводов 6 и 7. Плашки 1 и 2 имеют контактную внутреннюю поверхность 8 и 9.

¹⁹ Пат. 2219079 РФ, МКИ В60М1/24. Зажим для многожильных проводов контактной сети и способ его получения / И.А.Золотухин, К.Ю.Козлов; заявитель И.А.Золотухин, К.Ю.Козлов // Оpubл. 20.12.03.

Способ получения зажима, который содержит плашки и болтовые соединения, предусматривает формирование заготовок плашек, включающее первоначальную засыпку порошка первого слоя и дальнейшую засыпку порошка второго слоя с окончательным совместным прессованием обоих слоев, их спекание и охлаждение.

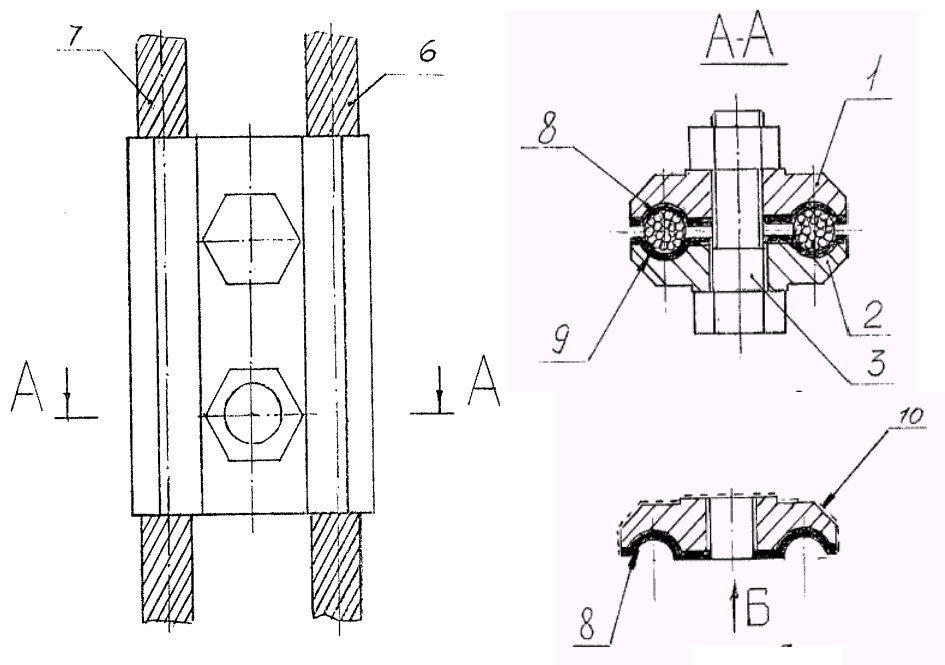


Рис. 8.4. Схема зажима для многожильных проводов контактной сети по патенту РФ №2219079 (пояснения в тексте, сохранена структура рисунка и нумерация деталей к описанию патента)

Способ дополнительно включает формирование заданного профиля поверхностей плашек после засыпки порошка первого и второго слоев, массовое соотношение которых составляет 80...85% – 15...20% соответственно, и антикоррозионное покрытие готовых плашек. Технический результат от применения устройства заключается в повышении механических и электрических характеристик зажима.

Патентом РФ №2101378²⁰ защищен дисперсно-упрочненный медный сплав и способ его получения. Сплав на основе меди содержит, мас. %: оксид алюминия 0,1-2,0; оксид гафния 0,05...0,5; алюминий 0,001...0,1; гафний 0,001...0,05. Дополнительно сплав может содержать, мас. %: окись титана 0,02...0,3, титан 0,001...0,05. Способ получения сплава включает приготовление порошка сплава на основе меди, содержащего, по крайней мере, два металла, имеющих большее сродство к кислороду, чем медь, отжиг порошка в окислительной атмосфере до увеличения его веса на

²⁰ Пат. 2101378 РФ, МКИ С22С9/01, С22С1/04, В22F3/14. Дисперсно-упрочненный медный сплав и способ его получения / В.И.Солопов; С.В.Брабец; заявитель В.И.Солопов // Оpubл. 10.01.98.

величину, определяемую из полученной экспериментально зависимости (привеса порошка от концентрации легирующих элементов). Порошок брикетируют, отжигают при 760-970°C в течение времени, определяемого по предложенной математической формуле, после чего сразу же проводят горячую деформацию. Предложенный состав сплава и способ его получения позволяют изготавливать медные сплавы, обладающие высокими прочностными свойствами, электропроводностью и стойкостью к водородной болезни.

В 2004 г. российским изобретателям из подмосковного города Истра выдан патент РФ № 2223843²¹ на способ изготовления шихты для слоистого электрического контакта. Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к изготовлению металлокерамических серебросодержащих электрических контактов, предназначенных для работы в низковольтной коммутационной аппаратуре. Предложен способ изготовления шихты для медно-серебряного слоя слоистого электрического контакта, включающий смешивание компонентов шихты. При этом медь в шихту вводят в виде оксида меди CuO, а перед применением шихту подвергают восстановительному отжигу. Техническим результатом является повышение пластичности спеченного материала серебро-медь.

Китайский институт HARBIN INST OF TECHNOLOGY получил патент Китая CN1482638²² на способ производства контакта из порошка на основе меди. Способ включает горячее прессование, при котором получают листовую заготовку из заготовки большого размера при температуре 700...750°C и коэффициенте вытяжки 20...30. Затем предусмотрена холодная деформация листовой прокаткой при суммарной степени деформации 70...90 %, а также окончательная штамповка или высадка.

Венгерскими исследователями получен международный патент WO0190428²³, выданный на контактный материал на основе меди и способ изготовления из него контактов. Материал содержит, мас. %: графит 0,5...5,0; кадмий 0,1...0,5; цирконий 0,2...0,5; индий 0,1...0,3, тантал 0,05...0,2. Контакт производится методом порошковой металлургии из

²¹ Пат. 2223843 РФ, МКИ B22F1/00. Способ изготовления шихты для слоистого электрического контакта / М.П. Афонин, М.Н. Овчинникова; заявители они же // Опубл. 2004.02.20.

²² Pat. CN1482638 Китай, МКИ B22F3/00; H01H11/04. Process for preparation of copper-based powder electrical contact / SHAO WENZHU (CN); ZHEN LIANG (CN); заявитель HARBIN INST OF TECHNOLOGY // Опубл. 17.03.04.

²³ Pat. WO0190428, C22C1/04; C22C9/00; H01H1/025; H01H1/027. Copper-based contact material, contact slug and procedure for making the contact slug / IVASKEVICS SZERGEJ; JUDIN BORISZ; KOURGANOV KONSTANTIN; JUDIN ALEXANDER; заявители JUDINA OLENA; IVASKEVICS SZERGEJ; JUDIN BORISZ; KOURGANOV KONSTANTIN // Опубл. 29.11.2001.

гранул размерами 50 мкм, смешиванием исходных компонентов и прессованием при давлении 400 МПа и спеканием.

В описании к патенту, в частности, отмечается, что контактные материалы, обычно используемые в низковольтных выключателях, выполняются из серебра с добавками оксидов кадмия, меди, цинка, свинца, олова, циркония, гафния, тория. Наравне с этим применяются добавки вольфрама, никеля, циркония, кадмия и карбидов металлов, имеющих высокую температуру плавления.

Известны также сплавы на основе меди, в том числе сплав следующего состава, мас. %: хром 0,2...0,35; кадмий 0,2...0,35; медь – остальное. Такого типа сплавы отличаются высокой твердостью, прочностью и электропроводностью, однако они обладают высоким контактным сопротивлением.

Известны также материалы для электрических контактов, содержащие, мас. %: графит 0,5%; кадмий 0,5; остальное - медь, изготавливаемые украинским заводом РО "HEMZ". Этот материал характеризуется следующими показателями: плотность 8,6 г/см³; временное сопротивление 360 МПа, износ 0,085 г/цикл $\times 10^{-6}$.

Серьезным недостатком контактных материалов, не содержащих серебро, является легкая припекаемость, что мешает их применению в высоковольтных выключателях. Низкое сопротивление возврату при работе выключателей характерно для медного сплава композиции: графит 0,0...2,0 %, кадмий 0,8...1,0 %, хром 0,5...2,0 %.

Однако недостатком такого материала является то, что контакты имеют невысокую оперативную срабатываемость, и поэтому их сфера применения ограничена. Например, износостойкость при низком и среднем напряжении их оказывается низкой, а их контактное сопротивление – высоким. Их сопротивление возврату в исходное положение и коррозионная стойкость являются неудовлетворительными, поэтому они не могут быть применены для автоматических выключателей или как контакты, находящиеся под большой нагрузкой. В патенте США US4517033 описан контактный материал на основе меди, который использовался в вакуумных выключателях. При этом сплав содержал не менее 10% легирующих элементов, из которых не более 35% хрома и не более 50% тантала. Такой материал мог содержать металлы с низкой температурой плавления, такие как висмут, таллий, свинец, селен, церий и кальций. Однако даже эти контакты имеют удовлетворительные характеристики срабатывания исключительно в вакууме.

Ревдинский завод по обработке цветных металлов получил патент РФ № 2203972²⁴ на способ изготовления антифрикционных материалов на основе меди.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к способам изготовления антифрикционных материалов с твердыми смазками на основе меди, предназначенных для получения деталей триботехнического назначения (самосмазывающихся износостойких подшипников скольжения в узлах трения). Способ включает приготовление порошковой смеси путем механохимического легирования с добавлением твердой смазки и геттера, холодное прессование, спекание и горячую экструзию, при этом после горячей экструзии материал подвергают закалке при температуре 850°C, охлаждают в ванне с водой и подвергают старению при температуре 400°C, после чего охлаждают вместе с печью. Технический результат, получаемый при осуществлении изобретения, заключается в увеличении процентного содержания твердых смазок в объеме материала, что повышает его прочностные характеристики.

Закалка изделий после горячей экструзии в проточной воде повышает деформированность при комнатной температуре, что позволяет стабилизировать фазовый состав материала (высокотемпературную фазу) и эффективнее производить правку и калибровку изделий. Охлаждение в ванне с водой нагретых под закалку изделий повышает скорость охлаждения материала, что, в свою очередь, кроме упрочнения медной матрицы микрочастицами позволяет стабилизировать фазовый состав материала (высокотемпературную фазу), упрочняя материал. Охлаждение после старения, проводимое вместе с печью, приводит к выделению ультрадисперсных частиц упрочняющей фазы, что еще больше повышает прочность материала.

Способ получения антифрикционного материала на основе меди осуществляется следующим образом. Приготавливают порошковую смесь состава, мас. %: олово 4...6; хром 2...4; никель 5...7; гидрид титана 0,3...0,5, а также твердые смазки: дисульфид молибдена 0,3...0,5; графит 0,3...0,5; медь – остальное. Смесь подвергают обработке в реакторе механохимического легирования в течение 1...2 ч. В процессе легирования происходит внедрение частиц легирующих элементов, например хрома или никеля, а также их карбидов и оксидов, в частицы медной матрицы. В объем добавляются твердые смазки (например, дисульфид молибдена, или графит, или их сочетание). Кроме того, добавляют гидрид титана как поглотитель влаги и газов для восстановления избыточных оксидов меди.

²⁴ Пат. 2203972 РФ, МКИ 7 C22C1/05, B22F3/20, B22F3/24. Способ получения антифрикционных материалов на основе меди. / В.А. Ягуткин, С.Д. Куимов, А.В. Филонов; заявитель ОАО "Ревдинский завод по обработке цветных металлов" // Оpubл. 2003.05.10.

Размер исходного материала составляет около 0,1 мм, а после легирования – около 1 мм. Полученный гранулят подвергают холодному прессованию в брикеты (например, диаметром 60 мм, высотой 200 мм) при давлении 0,7...0,8 МПа. Спрессованные брикеты с плотностью более 80 % от теоретической спекают в электрической печи сопротивления. Используют следующий режим: предварительный нагрев до 200°C с выдержкой до 1 ч, окончательный нагрев до 850°C с выдержкой до 1 ч (в зависимости от массы брикета). В процессе спекания происходит образование и рост металлического контакта между частицами и изменение микроскопической плотности пористого тела, связанное с изменением количества и размером пор.

Далее спеченный брикет нагревают в индукционной печи до 850°C в течение 15 мин, и он поступает на операцию горячей деформации – экструзии. Горячая экструзия осуществляется на горизонтальном гидравлическом прессе при давлении не менее 0,8 МПа. В результате из брикета получается прутки диаметром 15 мм или 22 мм. При горячей деформации снижается пористость изделия, затем производится закалка с последующим старением. Закалку производят в электрических печах сопротивления при температуре 850°C в течение 0,5...1 ч с последующим охлаждением в ванне с водой, после чего изделие хорошо поддается правке и калибровке. Закаленные прутки подвергают старению в электрической печи сопротивления или газовой печи при температуре 400°C в течение 3...4 ч, охлаждение происходит вместе с печью, что увеличивает продолжительность химических реакций в процессе старения. Экспериментальная проверка заявляемого способа показала, что полученные таким способом прутки диаметром 15 мм или 22 мм обладают повышенными физико-механическими характеристиками. Полученный по предлагаемому способу антифрикционный материал приведенного состава имеет прочность на растяжение 930...950 МПа, что в 1,45 раза выше, чем в известных способах.

Тем же заводом получен патент РФ № 2203973²⁵ на антифрикционный дисперсно-упрочнённый композиционный материал. Это техническое решение относится к области порошковой металлургии, в частности к антифрикционным дисперсно-упрочнённым композиционным материалам на основе меди, предназначенным для изготовления подшипников скольжения, работающих в условиях сухого и полусухого трения, в газовых средах, в присутствии абразивных частиц, при повышенных нагрузках и температурах. Антифрикционный дисперсно-упрочнённый композиционный материал содержит, мас. %: олово 4...10;

²⁵ Пат. 2203973 РФ, МКИ С22С9/06, С22С1/10. Антифрикционный дисперсно-упрочнённый композиционный материал / В.А. Ягуткин, С.Д. Куимов, А.В. Филонов; заявитель ОАО "Ревдинский завод по обработке цветных металлов" // Оpubл. 2003.05.10

хром 3...5; никель 2...7; гидрид титана 0,30...0,75; твердые смазки (графит или дисульфид молибдена или их смесь) 0,3...3,0; медь – остальное. Использование заявляемого антифрикционного дисперсно-упрочненного композиционного материала позволяет повысить прочность и износостойкость деталей, работающих в узлах трения в агрессивных средах, в присутствии абразивных частиц и в широком диапазоне рабочих давлений и температур.

Использование олова и меди в виде порошка сплава с оловом позволяет получить материал с заданными эксплуатационными свойствами. Используя олово в составе порошка сплава меди с оловом, получают материал с необходимым процентным содержанием олова. Применение горячей экструзии материала при температуре выше 860°C улучшает его механические свойства, снижает пористость и улучшает закаливаемость изделий. Введение гидрида титана в состав порошковой смеси приводит к восстановлению окисленных частиц меди и поглощению избыточного кислорода в объеме материала, что улучшает технологичность изготовления данного материала.

Гранулят получали механохимическим легированием порошковых компонентов в атриторе емкостью 15000 см³, причем порошок сплава олова с медью получали предварительно, например, распылением в воду. Гранулят компактировали в брикеты в металлической пресс-форме при давлении прессования 700...800 МПа. Плотность полученных брикетов составляла 6,4...6,5 г/см³. Брикеты нагревали на воздухе в индукционной печи до 820...900°C в течение 10...15 мин. Нагретый брикет подвергали горячей деформации – экструзии на круг диаметром 13,5 мм. Плотность прутков составляла 8,4...8,5 г/см³. Для экспериментальной проверки заявляемого материала были изготовлены брикеты составов с различным содержанием компонентов (табл. 8.1). Результаты экспериментальной проверки физико-механических свойств заявляемого материала представлены в табл. 8.2.

Механические свойства заявляемого материала по сравнению с материалом прототипа выше в 2,0-2,5 раза.

Использование заявляемого антифрикционного дисперсно-упрочненного композиционного материала позволит повысить прочность и износостойкость деталей, работающих в узлах трения в агрессивных средах, в присутствии абразивных частиц и в широком диапазоне рабочих давлений и температур.

Таблица 8.1

№ состава	Химический состав, мас. %					
	Cu	TiH ₂	Sn	Cr	Ni	Тв. смазка
1	основа	0,5	5,0	3,0	7,0	0,3
2	основа	0,5	5,0	3,0	7,0	3,0
3	основа	0,5	5,0	3,0	2,0	3,0
4	основа	0,5	5,0	5,0	7,0	0,3
5	основа	0,5	5,0	5,0	7,0	3,0
Прототип	основа	-	5,0	7,0	10,0	2,0

Таблица 8.2

№ составов	Механические свойства прутка Ø 13,5 мм			
	Предел прочности, σ_B , МПа	Предел прочности на изгиб, $\sigma_{изг}$, МПа	Твердость HV, МПа	Ударная вязкость, кПа×м
1 заявленный	750-760	1580-1600	1850-1900	4,0-4,4
2	700-710	1540-1560	2050-2100	3,6-3,8
3	630-640	1400-1420	1900-2000	3,5-3,7
4	800-820	1600-1610	2100-2150	3,3-3,5
5	720-320	1510-1520	2250-2300	3,0-3,2
Прототип	215-220	430-440	1000-1200	0,5-1,5

Тому же предприятию выдан патент РФ № 2161084²⁶ на способ получения крупногабаритного полуфабриката из порошковых и дисперсно-упрочненных композиционных материалов.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к получению крупногабаритных полуфабрикатов в виде прутка, шестигранника, квадрата, прямоугольной шины, трубы и других профилей из порошковых и дисперсно-упрочненных материалов на основе меди, или никеля, или алюминия, или других цветных металлов, или их сочетаний, предназначенных для изготовления деталей электротехнического назначения в машиностроении. Способ включает приготовление порошковой смеси с добавлением твердой смазки и геттера, холодное компактирование, термическую обработку и горячую деформацию путем экструзии. Холодное компактирование и горячую деформацию проводят на горизонтальном гидравлическом прессе, порошковую смесь засыпают в рабочую втулку контейнера прессы с углом откоса засыпки, близким к 80 °, холодное компактирование ведут с образованием тонкой пленки из фольги на боковой поверхности брикетов при извлечении их из контейнера. Способ позволяет получить длинномерный полуфабрикат с высокими

²⁶ Пат. 2161084 РФ, МКИ В22F3/20, С22С1/04. Способ получения крупногабаритного полуфабриката из порошковых и дисперсно-упрочненных композиционных материалов/ В.А. Ягуткин, С.Д. Куимов; А.В. Филонов; заявитель АООТ "Металлургический холдинг"// Оpubл. 2000.12.27.

физико-механическими характеристиками, а конечный продукт – с высокими эксплуатационными свойствами.

В основу изобретения поставлена задача разработки способа получения крупногабаритного полуфабриката из порошковых и дисперсно-упрочненных композиционных материалов с высокими физико-механическими свойствами, получаемыми за счет образования равномерной структуры порошковых материалов и более равномерного распределения в матрице ультрадисперсных (0,02...0,03 мкм) частиц легирующих элементов. Решение этой задачи позволит получить крупногабаритные полуфабрикаты с высокими эксплуатационными характеристиками.

Использование для холодного компактирования и горячей деформации (экструзии) технологической оснастки неспециализированного горизонтального гидравлического пресса позволяет получать длинномерный полуфабрикат. Это изделие может характеризоваться круглым сечением (прутки и трубы диаметром от 10 до 100 мм с толщиной стенки от 10 до 45 мм), квадратным или прямоугольным сечением с большим соотношением ширины к высоте (1...10) и максимальной шириной 200 мм.

Предварительная обработка внутренней поверхности рабочей втулки контейнера пресса до шероховатости $R_a < 1,25$ мкм позволяет проводить компактирование с образованием тонкой пленки из фольги на боковой поверхности брикета (за счет сил трения и развитой сдвиговой деформации). В результате этого снижается окисление основы материала при последующем нагреве брикетов, улучшаются физико-механические свойства полуфабрикатов.

Проведение термической обработки брикетов в индукционной печи при температуре 700...1050°C, где происходит твердофазное или жидкофазное спекание с оплавлением границ частиц порошка, позволяет использовать порошковые материалы, получаемые электролитическим способом, или распылением расплава в воду, или механическим легированием в атриторах, или измельченную стружку с размером частиц не более 1,5 мм. В зависимости от обрабатываемого материала и требуемых физико-механических характеристик готового полуфабриката, нагрев происходит на воздухе в течение 5...20 мин, после чего брикет имеет одинаковую по объему температуру. За счет значительного уменьшения времени нагрева брикетов, тонкой пленки фольги на боковой поверхности брикетов и наличия в составе материала геттера – поглотителя влаги и газов окисление материала в печи минимизируется, что весьма положительно сказывается на физико-механических свойствах полуфабриката, увеличивается его твердость и прочность.

Порошковую смесь системы Cu-Ti-TiN_2 - С на основе меди подвергают механическому легированию в атриторе емкостью 45 дм³. В

порошковую смесь вводят твердую смазку в виде графита для уменьшения температуры нагрева атритора, а также для образования карбидов и восстановления оксида меди в последующем процессе нагрева брикетов. Для поглощения избыточной влаги и газов в порошковую смесь вводят геттер – гидрид титана (TiH_2).

Холодное компактирование гранулята в брикеты осуществляют в контейнере горизонтального гидравлического пресса усилием 31,5 МН. Заполнение рабочей втулки контейнера пресса порошковым гранулятом производят с помощью центробежного лопастного загрузателя, причем угол откоса засыпки материала гораздо больше угла его естественного откоса и примерно равен 70...80 град.

В контейнере горизонтального гидравлического пресса материал компактируют в брикеты в холодном состоянии при давлении не менее 700 МПа. Размеры получаемых брикетов: диаметр 200 мм, длина 250 мм. За счет равномерной укладки исходного сыпучего материала в контейнер пресса, а также довольно высокой текучести материала в начале процесса компактирования готовые брикеты обладают высокими механическими свойствами и равномерной по сечению плотностью, равной 85...95 % от теоретической.

Для снижения окисления основы материала при последующем нагреве брикетов компактирование ведется с образованием тонкой пленки фольги на боковой поверхности брикета. Для получения такой пленки внутреннюю поверхность рабочей втулки контейнера пресса предварительно обрабатывают до шероховатости поверхности $Ra < 1,25$ мкм. Образование пресс-рубашки на боковой поверхности брикета происходит при его извлечении из контейнера за счет сил трения и развитой сдвиговой деформации.

Затем производят нагрев брикетов в индукционной печи до температуры 820...850°C в течение 10...15 мин, после чего брикеты имеют одинаковую температуру по всему объему. Нагретые в индукционной печи брикеты подвергают горячей деформации (экструзии) на горизонтальном гидравлическом прессе при давлении 800 МПа. При экструзии происходит измельчение и диспергирование в медной матрице легирующих добавок в виде окислов и карбида титана до размера частиц 0,02...0,03 мкм.

Результаты экспериментов показали, что по предлагаемому способу возможно получение крупногабаритных полуфабрикатов из дисперсно-упрочненных композиционных материалов диаметром более 80 мм с повышенными (на 10...12 %) механическими характеристиками по сравнению с известными способами.

Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов получил патент РФ № 2117064²⁷ на дисперсно-упрочненный композиционный материал.

А.с.СССР № 465439²⁸ выдано ВНИИЖТ на спеченный материал для контактных пластин токоприемников. В состав контактных пластин введен пропиточный материал, содержащий 5...40%(мас) олова, остальное – свинец, при следующем соотношении компонентов(мас.%): медь 5...30, свинец 8...20, никель 1...10, нитрид бора 1...10, олово 1...5, железо – остальное. Пропитка спеченного материала предупреждает проникновение влаги в поры, что повышает коррозионную стойкость пластин и снижает возможность пережога контактного провода при токосъеме на стоянке после длительного перерыва в работе. Пропиточный материал вводят либо в процессе спекания, либо после спекания. Достигнуты следующие характеристики изделия: временное сопротивление до 260 МПа, удельное электрическое сопротивление 0,110...0,115 Ом*мм²/м и существенное снижение износа.

В патенте РФ №2218628²⁹ предлагается способ получения контактных пластин токоприемников электроподвижного состава электрического транспорта. Способ включает формирование шихты, содержащей железо, медь, никель, фосфор, стеарат цинка, обработку давлением заготовок контактных пластин, их спекание и пропитку в расплавленном свинце, поверхность которого защищена слоем порошка древесного угля.

После пропитки пластина имеет следующее соотношение компонентов мас.%: медь 13,0-17,0; никель 0,8-1,0; фосфор 0,1-0,3; стеарат цинка 0,2-0,6; свинец 24,0-27,0; железо остальное. Обработку давлением заготовок контактных пластин проводят по боковой продольной стороне заготовки в матрице, короткие стороны разъема которой в плоскости, перпендикулярной оси инструмента, выполнены в виде ломаной линии, образующей при вершине угол не более 180°. Перед спеканием торцы заготовок контактных пластин обрезают с двух сторон под углом не более 90°. Техническим результатом является повышение антифрикционных

²⁷ Пат. 2117064 РФ, МКИ С22С9/00, С22С32/00. Дисперсно-упрочненный композиционный материал / С.Д. Куимов, В.А. Иванов, Н.А. Федотов и др.; заявитель Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов // Оpubл. 1998.08.10.

²⁸ А.с. №465439 СССР, МКИ С22С33/02, Н01Н1/02. Спеченный материал для контактных пластин токоприемников / Н.А.Буше; В.Я.Берент; В.П.Кольцов; М.Ю.Круминя; Ю.Е.Купцов; М.Е.Семенов; Л.И.Сизова; заявитель Всесоюзный научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта // Оpubл. 30.03.75.

²⁹ Пат. №2218628 РФ, МКИ Н01Н1/02, В22Ф3/26. Способ получения контактных пластин / И.А.Золотухин, К.Ю.Козлов// Оpubл. 10.12.03(56).

свойств и прочности контактных пластин, упрощение технологического процесса, снижение энергетических затрат.

На рис. 8.5 схематично изображен процесс прессования порошкового материала для получения контактной пластины (а), разъем матрицы (б) и общий вид контактной пластины (в).

Смесь исходных компонентов тщательно перемешивают в течение 30 мин, готовую смесь 1 засыпают в матрицу 2 и прессуют при давлении 9 МПа. Спрессованную заготовку контактной пластины извлекают из матрицы 2 и с двух концов обрезают под заданным углом. Обрезанные заготовки контактных пластин спекают в среде эндогаза при температуре 1180°C. Затем спеченные заготовки охлаждают. Охлажденные заготовки

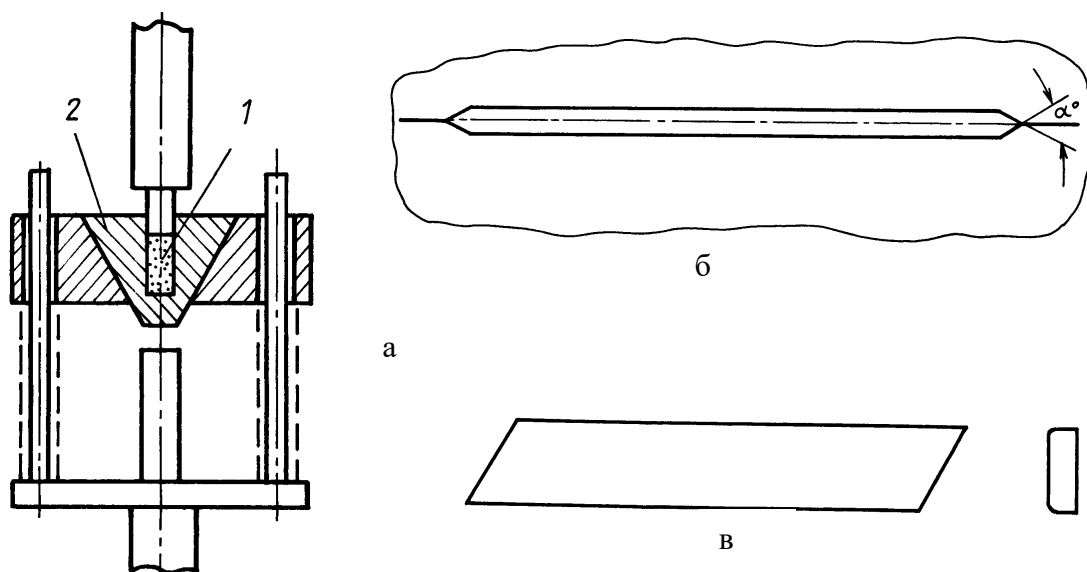


Рис. 8. 5. Оснастка (а) и конфигурация матрицы (б) и получаемой пластины (в) токоприемников электроподвижного состава по патенту РФ №2218628

контактных пластин пропитывают расплавленным свинцом при температуре 850°C в течение 5 мин. При этом поверхность расплавленного свинца защищена от контакта с воздухом слоем древесного угля.

Фирма MITSUBISHI ELECTRIC CORP получила европейский патент EP0083200³⁰, также патенты США № 4537743, №4499009, а также патент Японии №58108622 на материал для изготовления электрода вакуумного выключателя.

Материал изготавливается на основе меди и дополнительно содержит легкоплавкий компонент, такой как Bi, Pb, In, Li, Sn или сплавы на их основе при содержании, не превышающем 20% по массе.

³⁰ Pat. EP0083200, МКИ H01H1/02; H01H1/02. Electrode composition for vacuum switch / YAMANAKA TAKASHI; TAKEYA YASUSHI; YORITA MITSUMASA; HORIUCHI TOSHIKI; INAGAKI KOUICHI; NAYA EIZO; DEMIZU MICHINOSUKE; OKUMURA MITSUHIRO; заявитель MITSUBISHI ELECTRIC CORP // Оpubл. 06.07.83.

Дополнительно материал содержит первую добавку из числа металлов Te, Sb, La, Mg или их сплавов до 10% по массе, а также металл из группы Cr, Fe, Co, Ni, Ti, W или их сплавов в количестве не более 40% по массе.

Устройство высоковольтного вакуумного выключателя представлено на рис. 8.6. Выключатель состоит из пары электродов, помещенных в изолированную емкость, выполненную в виде полого цилиндра 10, закрытого торцевыми крышками 12 и 14. Внутри емкости помещены неподвижный электрод 16 и подвижный электрод 18, закрепленные соответственно на электродных тягах 20 и 22, при этом подвижный электрод снабжен изолирующей от воздуха манжетой 24. Экраны 26 и 28 выполняют защитные функции.

Электроды 16 и 18 выполнены из меди с добавкой ингредиентов с низкой температурой плавления, при этом имеется вторая добавка в количестве не более 20%, которая формирует твердый раствор с медью при комнатной температуре. Первая добавка в количестве не более 10%

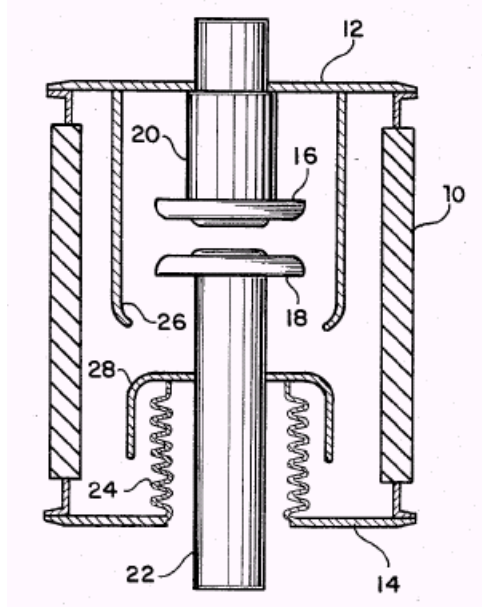


Рис. 8. 6. Конструктивное выполнение высоковольтного выключателя в соответствии с патентом EP0083200 фирмы MITSUBISHI ELECTRIC CORP (сохранена нумерация первоисточника, пояснения в тексте)

формирует сплав с пониженной температурой плавления. Для повышения стойкости выключателя может быть применена третья добавка с содержанием не более 40% и более высокой температурой плавления, чем температура плавления меди. Каждый из электродов 16 и 18 может представлять собой сплав системы Cu-Bi-Te-Cr. Этот сплав может быть получен смешиванием порошков металлов с использованием шаровой мельницы, формованием смеси при давлении 300 МПа и спеканием в печи в атмосфере водорода при температуре около 1000 °С.

Висмут и теллур распределяются в медной матрице равномерно в виде интерметаллических частиц Bi_2Te_3 , Cu_2Te , Cu_4Te_3 , CuTe . Электроды 16 и 18 изготовлены с наружным диаметром 50 мм при толщине 8 мм и приварены к тягам 20 и 22 медно-серебряным припоем при температуре 800°C.

Фирма MITSUBISHI ELECTRIC CORP получила патент Японии JP2197035, а также европейский патент EP0380220 и патент США US4971866³¹ на контактный материал для вакуумных выключателей.

Контактный материал формуют в неокислительной атмосфере из порошков меди и оксида тантала после нагрева. Вторым вариантом изготовления материала является холодное формование и спекание в

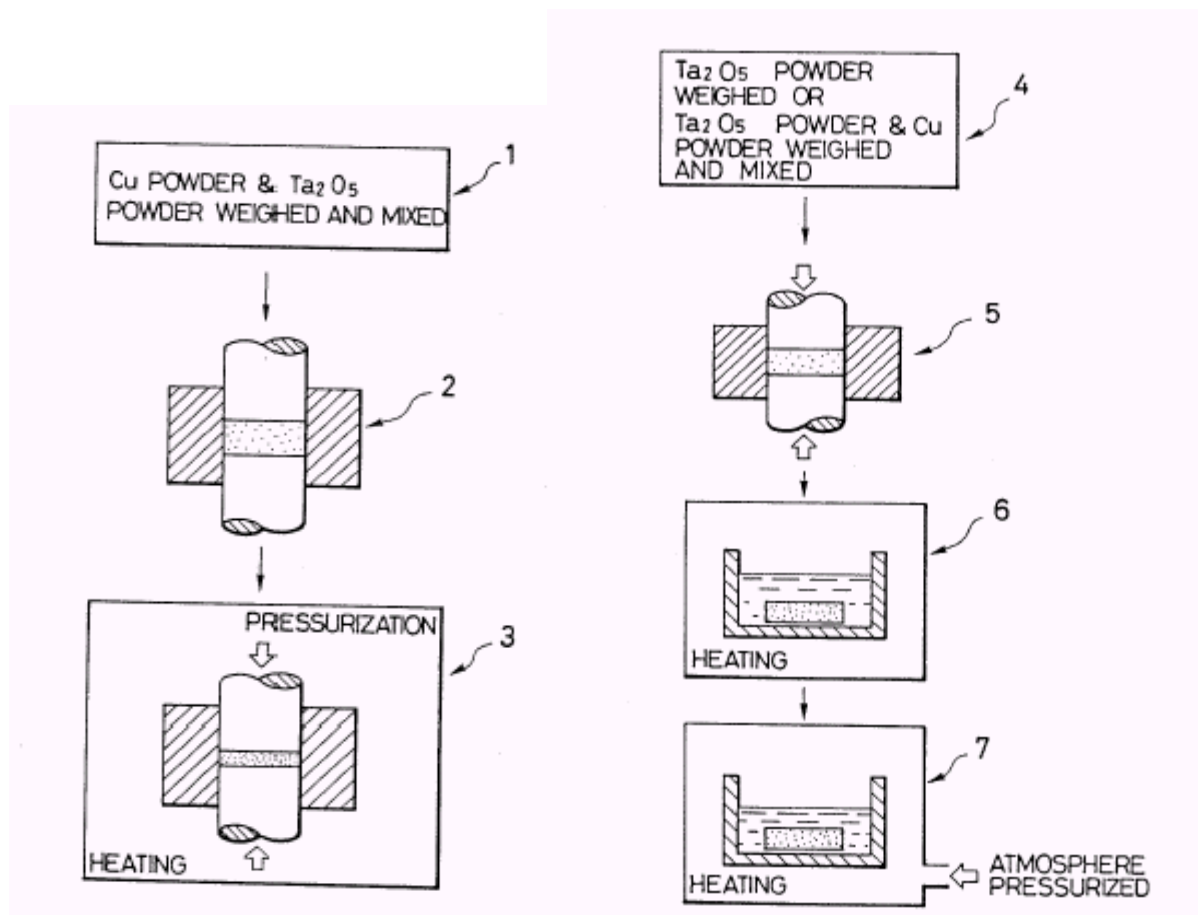


Рис.8. 7. Оформление технологического процесса изготовления выключателя в соответствии с патентом US4971866 фирмы MITSUBISHI ELECTRIC CORP (сохранена нумерация первоисточника, пояснения в тексте)

неокислительной атмосфере при 400...900°C. На рис.8. 7 приведены

³¹ Pat. US4971866, МКИ C22C32/00; H01H1/02; C22C32/00; H01H1/02. Contact material for vacuum switch and manufacture thereof/ NAYA EIZO; OKUMURA MITSUHIRO; заявитель MITSUBISHI ELECTRIC CORP // Оpubл. 20.11.90.

пояснения к порядку выполнения операций: 1 и 4 – подготовка смеси порошков к прессованию, 2 и 5 – холодное формование; 3 – горячее формование; 6 и 7 – спекание.

В описании, в частности, отмечается, что требования, предъявляемые к материалам вакуумных выключателей, заключаются в улучшенных характеристиках разрыва токового соединения, малой силе разрыва возможного сварного соединения (последнее требование означает силу, необходимую для отсоединения контактов, сплавленных между собой проходящим током), а также высокую износостойкость. Материал, удовлетворяющий этим требованиям в полной мере, до сих пор не разработан.

Например, контактные материалы на основе сплава Cu-Cr имеют

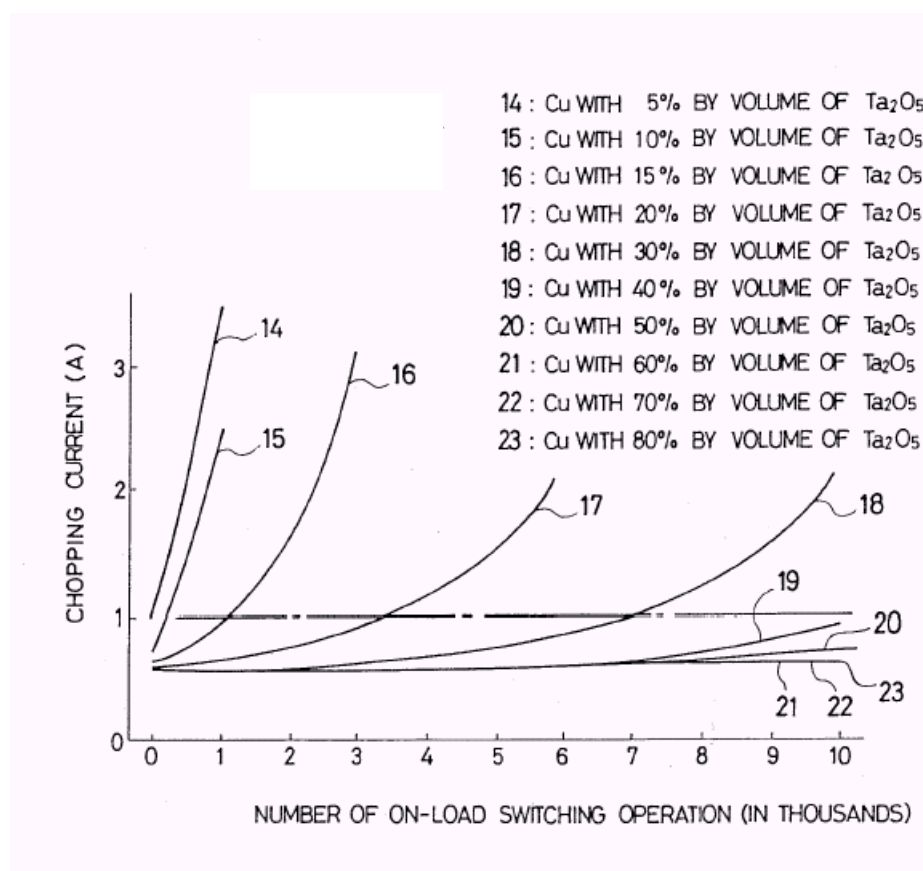


Рис.8. 8. Электрические характеристики материала выключателя в соответствии с патентом US4971866 фирмы MITSUBISHI ELECTRIC CORP: по оси ординат ток размыкания, по оси абсцисс – количество размыканий, умноженное на тысячу (сохранена нумерация сплавов первоисточника)

прекрасные характеристики разрыва контакта, и поэтому они главным образом применяются в вакуумных выключателях, однако они имеют высокий ток удара, поэтому они не пригодны для работы в цепях двигателей. При этом они обладают высокой силой разделения сварочного

соединения, так что эта сила должна быть обеспечена при работе выключателя.

Соединения Ag-WC, с одной стороны, имеют небольшой ток удара и поэтому могут быть использованы в вакуумных выключателях цепей запуска двигателей, но они имеют недостаточно высокие характеристики размыкания. Следует отметить, что характеристики контакта зависят не только от материала, из которого они изготовлены, но и от технологии изготовления. Например, контакты на основе сплава Cu-Cr, получаемые порошковой металлургией, обеспечивают высокие характеристики при содержании хрома около 25 %, но при производстве методом пропитки лучшие характеристики достигаются при содержании хрома 45 %.

Более ранним изобретением, защищенным патентом Японии JP1984-215621, в целях борьбы со сваркой в месте контакта предлагался материал, состоящий из меди и молибдена с добавками оксида Ta₂O₅. Однако при эксплуатации материала не были достигнуты приемлемые характеристики стабильности и тока размыкания, поэтому в данном техническом решении отказались от применения молибдена. На рис. 8.8 показано влияние содержания оксида тантала на электрические характеристики контакта. Видно, что для стабилизации тока размыкания на низком уровне содержание оксида тантала должно быть значительным (десятки процентов).

В патенте РФ №2166410³² предлагается способ получения контактных пластин токоприемников электроподвижного состава электрического транспорта.

Учитывая, что контактные пластины осуществляют электропитание транспорта в процессе движения последнего при постоянном контакте с токоведущими проводами, одним из главных требований к материалу контактных пластин является высокая износостойкость, т.е. высокие антифрикционные свойства, которые обеспечиваются обычно введением в состав материала веществ, являющихся смазкой. Однако введение смазок наряду с улучшением антифрикционных свойств приводит к снижению другого свойства – прочности, что снижает долговечность и работоспособность токоприемников.

По первому варианту контактные пластины получают путем их формирования из шихты, содержащей серу, медь, никель и железо, обработкой давлением, спеканием и пропиткой сплавом, содержащим свинец, олово и цинк. В результате получают пластины из порошкового материала, содержащего, мас. %: медь 9,75-12,2; никель 0,6-0,9; свинец 18,0-25,0; олово 0,3-1,2; сера 0,4-1,2; цинк 0,02-0,03; железо - остальное. По второму варианту шихта состоит из меди, никеля, серы, фосфора,

³² Пат. №2166410 РФ, МКИ В22F3/26, С22С1/04, С22С33/02, Н01Н1/02. Способ получения контактных пластин (его варианты) / В.Я. Берент // Оpubл. 10.05.01.

углерода, стали X18H15 и железа. После спекания пластины прикрепляют к стальной ленте и пропитывают сплавом, содержащим свинец, олово и цинк. В результате получают пластины из материала, содержащего, мас. %: медь 5,2-7,6; никель 0,32-0,7; свинец 25-32; олово 1,25-1,75; сера 0,34-0,8; цинк 0,03-0,048; фосфор 0,14-0,22; углерод 0,24-0,34; сталь X18H15 3,8-7,5; железо – остальное. Способ позволяет получить контактные пластины с высокими антифрикционными свойствами.

По обоим вариантам пропитка сформированной пластины может проводиться в автоклаве под давлением 1...10 МПа и температуре 400-450°C либо на воздухе при температуре 800-900°C. Указанные варианты решения задачи направлены на получение одного и того же технического результата – получение контактных пластин с высокими антифрикционными и прочностными свойствами, обеспечивающими долгий срок службы изделий.

Для получения порошкового материала готовят шихту, содержащую 13...15% меди, 0,8...1,2% никеля, 0,5...1,5% серы и железо - остальное, из которой методом прокатки или прессования формируют пластины, которые затем спекаются в атмосфере водорода или эндогаза при температуре 1150°C в течение 1,5...2 ч. Указанное содержание компонентов шихты определено экспериментально исходя из получения необходимого состава материала пластин после их пропитки свинцом.

Предварительно прошедшие вакуумирование спеченные пластины пропитываются сплавом СОЦ (4...6% олова, 0,1...0,14% цинка, свинец – остальное) в автоклаве в течение 30 мин при температуре 400...450°C и давлении 1...10 МПа или на воздухе при температуре 800...900°C в течение 8...15 мин.

Наличие цинка в сплаве пропитки повышает его прочностные свойства, а также коррозионную стойкость и улучшает смачиваемость сплава с медью и железом.

Содержание меди в спеченном материале до стадии пропитки должно быть в пределах 13...15 %, что обеспечивает оптимальную пористость пластин 17...20 %, позволяющую ввести в нее максимальное количество твердой смазки и этим обеспечить необходимые антифрикционные свойства без потери прочности.

Увеличение содержания меди более 15% приводит к резкому снижению пористости тела пластины, а снижение менее 13% приводит к увеличению пористости, следовательно, и недопустимому снижению прочности.

Никель в указанных пределах служит технологической присадкой, облегчающей процесс формирования пластин, а олово, присутствующее в сплаве пропитки, служит для улучшения смачиваемости свинца с основой спеченного материала (медью и железом).

Сера является химически активной твердой смазкой и вводится в состав материала пластин для повышения их антифрикционных свойств. Выявлено, что введение ее в материал до пропитки в количестве, меньшем 0,5%, оказывает слабое влияние на указанное свойство, а превышение верхнего предела (1,5%) не вносит существенного увеличения достигнутых антифрикционных свойств, приводя к усложнению технологии смешивания компонентов шихты.

Согласно второму варианту способ осуществляется следующим образом.

Порошковый материал готовят из шихты, содержащей 7...12 % меди, 5...10% стали X18H15, 0,8...1,2% никеля, 0,3...0,5% углерода, 0,5...1,5% серы, 0,2...0,4% фосфора и железа – остальное.

Методом прокатки или прессования формируют пластины, которые затем спекают в атмосфере водорода или эндогаза при температуре 1150°C в течение 1,5...2 ч.

Полученные пластины из спеченного материала прикрепляют к стальной ленте и после вакуумирования подвергают пропитке сплавом СОЦ.

Пропитку осуществляют в автоклаве в течение 30 мин при температуре 400...450°C и давлении 1...10 МПа либо на воздухе при температуре 800...900°C в течение 8...15 мин.

Поскольку согласно второму варианту контактная пластина закреплена на несущем основании – стальной ленте, то исходная пористость перед пропиткой может быть значительно увеличена без опасения снизить прочность пластины, для чего содержание меди в спеченном материале до стадии пропитки можно довести до 7...12%.

Нижний предел содержания меди обеспечивает максимальную пористость пластины по соображениям технологичности крепления ее к несущему основанию, а превышение верхнего предела не обеспечивает пористости, необходимой для введения требуемого количества смазки при пропитке пластины.

Никель в указанных пределах служит технологической присадкой, облегчающей процесс формирования пластин, а олово, присутствующее в сплаве пропитки, служит для улучшения смачиваемости свинца с основой спеченного материала (медью и железом).

Фосфор является химически активной твердой смазкой. Пределы его содержания в спеченном материале определены по соображениям, несколько отличным от приведенных выше для серы: снижение содержания фосфора менее 0,2% в спеченном материале до пропитки не оказывает существенного влияния на антифрикционные свойства пластин, а увеличение сверх 0,4% уменьшает достигнутые значения этого свойства.

Порошок нержавеющей стали марки X18H15 вводится в состав материала пластин, чтобы повысить электроэрозионную стойкость при работе в контакте с токопроводящими проводами.

Количество данной присадки определено экспериментально: меньше 5% не дают существенного повышения стойкости, а при превышении верхнего предела (10%) электроэрозионная стойкость даже падает.

Введение в состав материала углерода создает восстановительную атмосферу в шихте, способствующую восстановлению оксидов на поверхностях частиц компонентов шихты. Содержание углерода менее 0,3% в спеченном материале не обеспечивает указанных условий, а увеличение содержания сверх 0,5% приводит к науглероживанию железной матрицы пластин под воздействием возникающих при эксплуатации пластин электрических разрядов, в результате чего повышается твердость контактной поверхности пластин, приводящая к усиленному износу медного контактного провода.

Американская фирма OSRAM SYLVANIA INC получила патент США US5956560³³ на композиционный порошок вольфрам-медь. Порошок состоит из индивидуальных частиц, имеющих вольфрамовую фазу и медную фазу, расположенную внутри вольфрамовой фазы. Медь в оболочке из вольфрама может быть подвергнута уплотнению и спеканию с образованием псевдосплава W-Cu, имеющего гомогенное распределение вольфрама и меди (рис. 8.9).

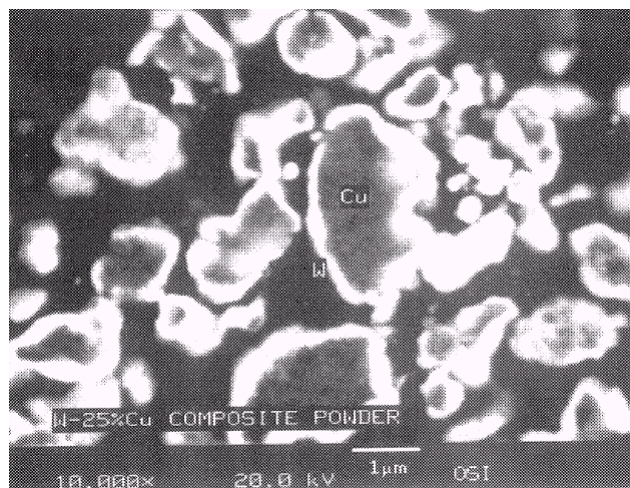


Рис. 8.9. Структура композиционного порошка вольфрам – медь по патенту США US5956560 фирмы OSRAM SYLVANIA INC

³³ Pat. US5956560 США, МКИ B22F1/02; B22F9/22; C04B41/51; C04B41/88; C22C1/04; H01H1/025; H01L23/498; B22F1/02; B22F9/16; C04B41/45; C04B41/88; C22C1/04; H01H1/02; H01L23/48. Tungsten-copper composite powder / DORFMAN LEONID P (US); HOUCK DAVID L (US); SCHEITHAUER MICHAEL J (US); PALIWAL MUKTESH (US); MEYERS GAIL T (US); VENSKYTIS FRANK J (US); заявитель OSRAM SYLVANIA INC // Оpubл. 21.09.99.

Фирма HITACHI LTD получила патент Великобритании GB2027449³⁴, а также патенты США US4347413 и Японии JP55019710 на электроды для вакуумного выключателя.

Электроды отличаются способностью противостоять схватыванию и высоким током разрыва. Они выполнены из сплава, содержащего не более 20 мас.% редкоземельного металла (лантана или церия), не более 10 мас.% таких металлов как свинец или висмут, имеющих большую величину давления пара, чем медь и 0,1...30 мас.% металла из группы железа.

Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет) получил патент РФ № 2202642³⁵ на способ изготовления композиционного материала на основе меди и композиционный материал, изготовленный этим способом.

Изобретение относится к области порошковой металлургии, в частности к разработке технологии изготовления жаропрочных и износостойких электротехнических композиционных материалов на основе меди путем механического легирования, и может быть использовано в производстве силовых разрывных и дугогасительных контактов.

Задачей изобретения является снижение трудоемкости процесса, увеличение прочностных свойств материала при комнатной и повышенных температурах. Данный способ включает получение порошковой смеси, содержащей частицы меди в виде предварительно измельченной стружки, и, по меньшей мере, одно вещество, выбранное из группы, содержащей хром, вольфрам, NbCr₂ и карбид кремния в количестве, не превышающем 50 мас.%, с исходной дисперсностью 10...40 мкм, размол ее в высокоэнергетической мельнице в течение 30...180 мин, последующее холодное компактирование в брикеты, нагрев до температуры, не превышающей температуру начала рекристаллизации медного твердого раствора, и прессование при этой температуре.

Композиционный материал на основе меди, изготовленный в соответствии с данным способом, дополнительно содержит, по меньшей мере, одно вещество, выбранное из группы, включающей хром, вольфрам, NbCr₂ и карбид кремния в количестве, не превышающем 50 мас.%.

Материал характеризуется длительной твердостью при 400°C, превышающей длительную твердость внутреннеокисленной меди не менее чем в 1,5 раза. Техническим результатом изобретения является то, что

³⁴ Pat. US4347413 США, МКИ C22C9/00; H01H1/02; C22C9/00; H01H1/02. Electrodes of vacuum circuit breaker; заявитель HITACHI LTD // Оpubл. 20.02.80.

³⁵ Пат. 2202642 РФ, МКИ C22C1/05, B22F9/04. Способ изготовления композиционного материала на основе меди и композиционный материал, изготовленный этим способом / А.А. Аксенов, И.С. Гершман, Д.В. Кудашов и др.; заявитель Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет) // Оpubл. 2003.04.20

композиционный материал, полученный заявленным способом, обладает термической стабильностью, высокими значениями твердости при сохранении на достаточно высоком уровне значений электропроводности.

Поставленная задача в частных случаях воплощения изобретения решается также тем, что размол смеси проводят в планетарном активаторе. Размол и компактирование осуществляют в среде аргона. Компактирование проводится путем холодного двухстороннего прессования до достижения, по меньшей мере, 80 % теоретической плотности, а прессование – путем горячего двухстороннего прессования. Размол указанной смеси в высокоэнергетических мельницах осуществляют при отношении мелющего тела к массе смеси от 7:1 до 10:1.

Материалы на основе систем Cu-Cr, Cu-W, Cu-NbCr₂ и Cu-SiC выбраны по результатам предварительных исследований, которые показали, что методом механического легирования из порошковых смесей на основе данных систем можно получить материал с высокой твердостью не ниже 180 НВ и электропроводностью на уровне 10...12 МСм/см².

В качестве исходных материалов для получения композиционных материалов Cu-Cr, Cu-W, Cu-NbCr₂ и Cu-SiC использовали токарную стружку чистой меди (99,99%) и порошки хрома, вольфрама, NbCr₂ и карбида кремния крупностью примерно от 10 до 40 мкм.

Обнаружено, что выбор измельченной стружки в качестве сырья для получения матричных частиц сплава позволяет избежать добавления каких-либо активаторов процесса высокоэнергетического измельчения, значительно сократить время обработки в мельнице, а также снизить температуру консолидации материала. Вероятно, это можно объяснить тем, что стружка, полученная на токарном станке или фрезерованием, в процессе получения подвергается значительной холодной деформации. Известно, что до 10% работы, затраченной на холодную деформацию, поглощается материалом. При этом накопленная в материале энергия "задерживается" в виде энергии дефектов кристаллической решетки. Все это позволяет начать процесс обработки материала в высокоэнергетической мельнице как бы с более высокого уровня дефектности структуры, что и позволяет привести полную обработку в более короткие сроки, а также последующую консолидацию материала при температурах ниже температуры рекристаллизации матричного сплава.

Использование стружки в качестве компонента смеси также позволит расширить сырьевую базу (включая вторичное сырье) для получения дисперсно-упрочненных материалов методом механического легирования.

Обработку исходной порошковой смеси вели в планетарном активаторе в герметичных барабанах с квазицилиндрическими мелющими телами в атмосфере аргона в течение 30-180 мин. В использованном активаторе процесс осуществляется в поле трех сил: двух центробежных и

силы Кориолиса. Центробежные силы, действующие на мелющие тела и материалы, превышают силу тяжести в 70 раз, благодаря чему энергонапряженность данной установки, достигающая 10 кВт/дм, превосходит энергонапряженность гравитационных шаровых мельниц на 2-3 порядка. Кроме того, в активаторе применяется интенсивное водяное охлаждение барабанов, что значительно увеличивает степень активации вещества из-за снижения возможности отжига дефектов.

Затем проводили компактирование путем холодного двухстороннего прессования до достижения, по меньшей мере, 80% теоретической плотности и прессование при температуре ниже температуры начала рекристаллизации меди путем горячего двухстороннего прессования.

Оценку твердости композиционных материалов проводили по методу Виккерса на твердомере ИТ 5010 и по Бринеллю на твердомере ТШ-2.

В качестве характеристики жаропрочности в работе оценивали длительную твердость, которую определяли на специально разработанном приборе, который состоит из пресса для оценки твердости по методу Бринелля ТШ-2 и электрической печи. Твердость оценивали при температуре 400°C и нагрузке 200 кг; шариковый индентор диаметром $d_{\text{шар}} = 10$ мм, продолжительность выдержки под нагрузкой 60 мин.

В качестве объекта для сравнения была выбрана внутренне окисленная медь. Выбор обусловлен тем, что внутреннее окисление является в настоящее время наиболее распространенным, альтернативным механическому легированию методом получения дисперсно-упрочненных композиционных материалов на основе меди.

Из табл. 8.3 видно, что материалы Cu-50%Cr, Cu-45%Cr Cu-40%Cr обладают низкой пористостью и удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Материал Cu-30%Cr имеет наибольшее из всех композиционных материалов данной системы значение электропроводности, но невысокие значения твердости, что ставит его применимость в качестве разрываемых контактов под сомнение.

Из таблицы следует также, что значения твердости у всех композиционных материалов системы Cu-Cr выше, чем у внутренне окисленной меди.

Особенностью работы разрываемых контактов является то, что в момент замыкания-размыкания контакт подвергается воздействию высоких температур. В этой связи одной из важнейших характеристик электроконтактов является стабильность свойств при повышенных температурах.

Таблица 8.3

Свойства композиционных материалов системы Cu – Cr и внутренне окисленной меди при комнатной температуре

Материал	Твердость НВ	Электропроводность, МСм/см ²	Пористость, %
Cu – 50 % Cr	298	13,7	3,43
Cu – 45 % Cr	249	18,6	2,94
Cu – 40 % Cr	229	22,6	2,29
Cu – 30 % Cr	147	131,6	1,64
Внутренне окисленная медь	122	44,9	–

Для оценки термической стабильности полученных композиционных материалов Cu-Cr были проведены отжиги в течение одного часа при температурах 700, 800, 900 и 1000°C, а также испытания на длительную твердость при температуре 400°C.

Зависимость твердости по Бринеллю композиционных материалов от температуры часового отжига приведена на рис. 8.10.

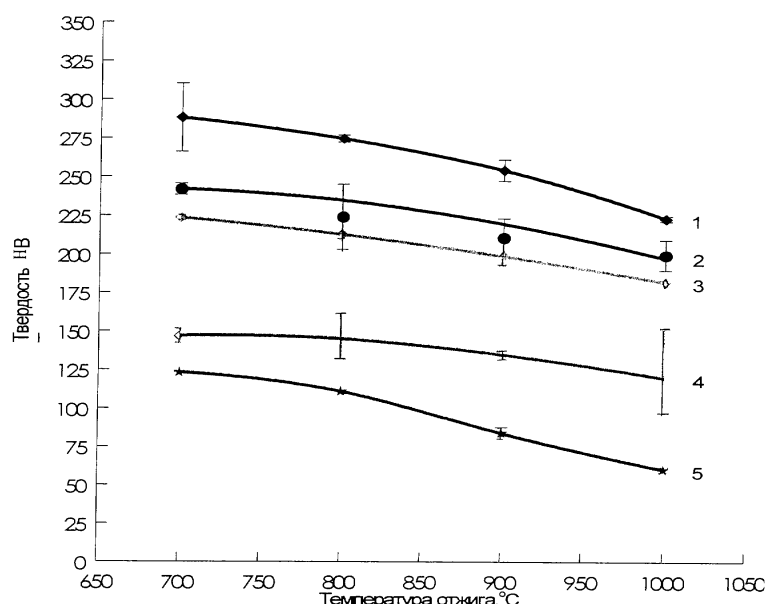


Рис. 8.10. Зависимость твердости от температуры отжига при времени выдержки 1ч для композиций Cu-50%Cr(1); Cu-45%Cr(2); Cu-40%Cr(3), Cu-40%Cr(4) и внутренне окисленной меди(5)

Видно, что композиционные материалы системы Cu-Cr обладают высокой термической стабильностью. Снижение твердости материала Cu-Cr после отжига при температуре 1000°C (что примерно соответствует 0,9 $T_{пл}$ меди) составляет у Cu-50%Cr – 25 %, у Cu-45%Cr – 19,3%, у Cu-40%Cr – 21,2 %, у Cu-30%Cr – 14,9 %. При этом твердость внутреннеокисленной меди снижается более чем наполовину (51,4%). Результаты испытаний на длительную твердость представлены в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Значения твердости при комнатной и повышенной температуре

Материал	HB	HB ⁴⁰⁰
Cu – 50 % Cr	296	139
Cu – 50 % Cr	226	96
Cu – 50 % Cr	151	64
Внутренне окисленная медь	122	36

Выявлено, что электропроводность у образцов Cu-50%Cr, Cu-45%Cr, Cu-40%Cr практически не изменяется. Увеличение содержания хрома препятствует окислению образцов, чем и обусловлено постоянство значений электропроводности у образцов с высоким содержанием хрома.

В соответствии с режимами, приведенными в предыдущем примере, получали материалы с содержанием карбида кремния от 5 до 25% по массе. В качестве исходных материалов для получения композиционных материалов использовали токарную стружку чистой меди (99,99%) и частицы карбида кремния со структурой SiC и средним размером 10 мкм.

Исследования структуры композиционного материала на разных стадиях обработки в планетарном активаторе показали, что здесь проходят следующие процессы. Частицы карбида кремния измельчаются; частицы медной матрицы деформируются, принимая форму чешуек. Частицы карбида кремния внедряются в частицы медной матрицы. После 10...60 мин обработки в активаторе формируется слоистая структура гранулы. Оба механизма заканчиваются сваркой слоев между собой.

С увеличением времени обработки в активаторе свыше 30 мин слоистый характер структуры постепенно исчезает и гранулы становятся монолитными образованиями с равномерно распределенными в них дисперсными частицами карбида кремния.

В зависимости от количества упрочняющих частиц этот процесс во временном масштабе проходит по-разному – чем выше объемная доля частиц карбида кремния в композиционном материале, тем быстрее достигается однородное (равномерное) распределение частиц.

Частицы карбида кремния во всех исследованных образцах сильно измельчаются в первые 20...30 мин обработки в активаторе, а далее их размер меняется незначительно. Например, в композиционном материале Cu-20%SiC уже после 20 мин обработки в активаторе при среднем размере ~ 1 мкм больше 50% частиц имеют размер менее 0,1 мкм и, судя по интенсивности отражений от SiC на рентгенограммах, переходят в рентгеноаморфное состояние.

Следующей после обработки порошковой смеси важной операцией при получении композиционных материалов является изготовление плотных образцов из полученных гранул-полуфабрикатов. Образцы композиционных материалов получали компактированием порошковой смеси в две стадии: путем холодного двухстороннего прессования до достижения, по меньшей мере, 80 % теоретической плотности; под постоянным давлением при нагреве до температур ниже температуры начала рекристаллизации медной матрицы (400...600°C).

В результате такого компактирования удавалось получать качественные образцы с плотностью не менее 95%.

Как видно из рис. 8.11, образцы композиционных материалов на основе системы Cu-SiC обладают высокими значениями твердости при сохранении на достаточно высоком уровне значений электропроводности.

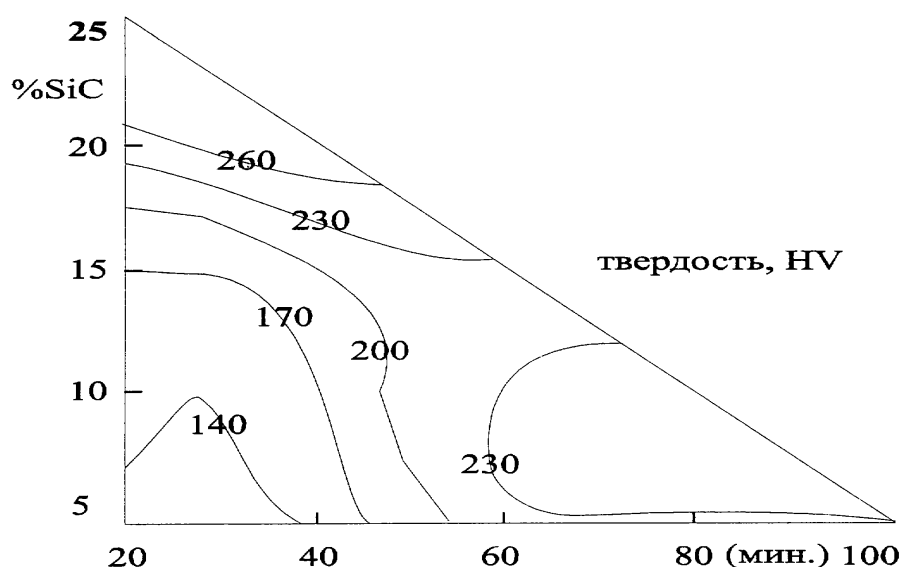


Рис. 8.11. Зависимость твердости по Виккерсу от объемной доли частиц карбида кремния и времени обработки в планетарном активаторе

Французская фирма MERLIN GERIN получила патент США № US4919717³⁶, а также европейский патент № EP0290311, патенты Японии № JP63293132 и Франции № FR2615046 на спеченный композиционный материал для электрического контакта. Материал содержит, мас. % 80...95 меди, 2...15 никеля и 2...5 графита; он предназначен для использования в устройствах низковольтных выключателей. Порошок меди должен иметь средний размер менее чем 24 мкм, содержание кислорода не более 2000 ppm, а чистоту металлических элементов не менее 99,5 %. Графит используют в форме частиц, имеющих размеры по длине 100 мкм и по толщине 20 мкм. Никелевый порошок должен быть сферической формы при среднем размере частиц 5 мкм.

В 2004 г. изобретателям из Австралии выдан патент США № US6679933³⁷ на низкорезистивный материал с улучшенным сопротивлением износу для преобразователей электрического тока. Патент защищает и метод производства этого материала. Разработка предназначена для использования в качестве контактного материала для систем железных дорог и других промышленных объектов. Материал представляет собой медную матрицу, имеющую множество пор, в которых расположен графит. Композит должен иметь электропроводность не менее 40% по шкале IACS, но эта величина может достигать 70 %. Плотность вещества находится на уровне 6,0 г/см³. Способ производства включает смешивание порошков меди и графита при отсутствии окислителей, компактирование смеси и спекание в тех же условиях.

8.3. Способы обработки порошков меди для производства изделий триботехнического назначения

Костромскому технологическому институту и Совместному советско-британскому предприятию "Росбри Интернейшнл Лимитед"

³⁶ Пат. 4919717 USA, МКИ C22C9/06; C22C1/04; H01B1/02; H01H1/025. Sintered composite material for electrical contact / AMBIER JEAN; FRANCILLON MARIE-JO; ALLIBERT COLETTE; LAUGEE CATHERINE; заявитель MERLIN GERIN // Оpubл. 1990-04-24.

³⁷ Пат. US6679933 USA, МКИ B22F1/00; B22F3/12; B22F5/00; B60L1/00; B60L5/08; B60L5/24; C22C1/05; C22C1/08; C22C1/10; C22C9/00; C22C32/00; F16C33/16; H01R41/00; H01R43/12. Low resistivity materials with improved wear performance for electrical current transfer and methods for preparing same / HE DA HAI (AU); MANORY RAFAEL R (AU); GRADY NORMAN J (AU); SINKIS HARRY (AU); PACHECO CLIM (AU); заявитель VICTORIAN RAIL TRACK (AU); HE DA HAI (AU); MANORY RAFAEL R (AU)// Оpubл. 2004-01-20.

выдан патент РФ № 2024639³⁸ на спеченный антифрикционный материал на основе меди.

Предложен спеченный антифрикционный материал на основе меди следующего состава, мас. %: олово 4,0...6,0; графит 1,0...2,0; цинк 2,0...4,0; фтористый кальций 0,5...1,0; металлид марки ПН85Ю15 4,0...6,0; бор 0,05...0,07; медь – остальное. Материал обладает повышенными антифрикционными и физико-механическими свойствами.

Китайский университет ZHENGZHOU UNIVERSITY OF LIGHT получил патент Китая CN1594621³⁹ на порошковый материал фрикционного назначения на основе меди. Материал содержит, мас. %: 40...80; Sn 3...10; Al 2...10; Fe 2...20; SiC 1...3; SiO₂ 1...8; B₄C 1...3; графит 1...15; Pb 0...10; MoS₂ 2...10; Ba 5...20; Mn 0...2; Mg 0...2; CaF₂ 0...2. Материал обладает повышенным коэффициентом трения и малой склонностью к износу.

Акционерному обществу "Электроконтакт" выдан патент РФ №2032494⁴⁰ на способ изготовления изделий из порошковых алюминиевых бронз. Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к спеченным пористым подшипникам из порошковых материалов на основе меди, работающим в условиях смазки при средних и тяжелых нагрузках. В описании отмечается, что недостатком известных способов является то, что спекание порошковых заготовок проводят в восстановительных, защитных инертных средах и засыпках, что усложняет технологический процесс, делает его небезопасным (спекание в водороде), чрезмерно удлиняет процесс из-за необходимости уплотнения муфелей, медленного нагрева, длительного спекания и охлаждения, с последующим нагревом и пропиткой спеченных подшипников в масляной ванне.

Предлагаемый способ включает приготовление шихты на основе меди, содержащей кроме алюминия другие добавки, смешение шихты с добавлением 1...2 мас. % минерального масла, ускоренное охлаждение горячей спеченной детали путем ее сброса в ненагретую масляную ванну, что является также процессом пропитки пористого изделия маслом. Спекание на воздухе проводят в режиме самовоспламенения прессованной заготовки. Наличие масла в порах спрессованной заготовки предохраняет окисление спекаемых контактов на первом главном этапе процесса –

³⁸ Пат. 2024639 РФ, МКИ C22C9/06. Спеченный антифрикционный материал на основе меди / С.Н.Бошин, В.В. Цветков, С.Р. Незамаев и др.; заявитель Совместное советско-британское предприятие "Росбри Интернейшнл Лимитед" и Костромской технологический институт // Оpubл. 1994.12.15.

³⁹ Pat. CN1594621 Китай, МКИ C22C9/00; F16D69/02; C22C1/05. Copper base powder metallurgical friction material / CHEN LIU JIANXIU (CN); GAO HONGXIA (CN); GUO YANQIANG; заявитель ZHENGZHOU UNIVERSITY OF LIGHT // Оpubл. 16.03.05

⁴⁰ Пат. №2032494 РФ, МКИ B22F3/00. Способ изготовления изделий из порошковых алюминиевых бронз / В.Д.Зозуля, А.Л.Зайара, В.А.Манерцев, Н.В.Бобков; заявитель: АО "Электроконтакт" // Оpubл. 10.04.95.

скоротечном нагреве помещаемой прессовки в камеру печи, подогретую до температуры теплового взрыва (600-700°C), за счет поглощения кислорода маслом, дальнейшего образования продуктов сгорания, окисления сажи и т.д.

За это время прессовка успевает загореться и на этом этапе до окончания процесса спекания защитную антиокислительную функцию берет на себя алюминий, раскисляя спекаемые детали. Кроме того, способность бронз образовывать защитные тонкие жаростойкие пленки является главным "разрешающим" фактором экзотермического спекания. Отсутствие закрытых уплотненных камер печей, муфель, реакторов позволяет спеченное горячее изделие быстро сбросить в холодную ванну, что дает возможность зафиксировать в материале бронзы β -фазу, значительно повышающую износостойкость. Такая операция закалки в масле заменяет и делает ненужной последующую пропитку спеченного пористого подшипника в масле, увеличивая масловпитываемость и, следовательно, ресурс работы в режиме самосмазывания. Обязательной отличительной способностью предлагаемого способа является также то, что массовая доля материала основы (меди) не должна быть меньше 87 % (мас). В противном случае благодаря избытку жидкой фазы (сложная эвтектика расплава алюминия с другими легирующими металлами) спекаемое изделий теряет форму. Образуются мениски на торцах, появляется бочкообразность, конусность, чрезмерное выпотевание и даже "расползание". В то же время алюминия (теплообразователя) должно быть не менее 5 мас. % иначе горения прессовки на воздухе не происходит.

Акционерное общество "Электроконтакт" получило патент РФ № 2032494⁴¹ на способ изготовления изделий из порошковых алюминиевых бронз.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к спеченным порошковым пористым подшипникам и материалам на основе меди с добавками алюминия и других компонентов. Целью изобретения является упрощение способа изготовления пористых пропитываемых маслом подшипников и улучшение их триботехнических характеристик при граничной смазке в режиме самосмазывания. Сущность изобретения заключается в смешении с индустриальным маслом шихты, содержащей не менее 87 мас.% порошка меди с добавками не менее 5 мас.% алюминия и других легирующих элементов, с последующим спеканием прессовок в воздушной среде при температуре в камере печи 600...750°C, в режиме самовозгорания с последующей закалкой в масле, служащей также и пропиткой пористых подшипников в масле. Спеченные по данному

⁴¹ Пат. 2032494 РФ, МКИ В22F3/00. Способ изготовления изделий из порошковых алюминиевых бронз / В.Д. Зозуля, А.Л. Зайара, В.А. Манерцев и др.; заявитель Акционерное общество "Электроконтакт"// Оpubл. 1995.04.10.

способу подшипники имеют значительно меньший износ, более высокий ресурс работы в режиме самосмазывания, меньшую себестоимость, чем у прототипа.

Новочеркасский государственный технический университет получил патент РФ 2090308⁴² на способ изготовления антифрикционных порошковых материалов. Изобретение относится к области порошковой металлургии, в частности к изготовлению антифрикционных материалов для высоконагруженных узлов трения. Предложен способ получения антифрикционных порошковых материалов на основе бронзы, включающий приготовление шихты, состоящей из смеси порошков меди и стекла, с последующим смешиванием с порошком бронзы; смесь порошков меди и стекла обрабатывается в атриторе. Шихта состоит из следующих соотношений компонентов, мас. %: стекло 5...20; медь 5...20; бронза – остальное.

Предлагаемый антифрикционный материал получен по следующей технологии. Порошок стекла марки С88-5 совместно с порошком меди марки МПС-1 в пропорции 1:1 обрабатывают в атриторе при соотношении массы шаров к массе смеси порошков стекла и меди 3:1, скорость вращения 0,2 м/с, время обработки 0,02-0,5 ч.

Полученную смесь порошков стекла и меди добавляют в порошок бронзы и перемешивают в конусном смесителе в течение 2-4 ч в зависимости от количества и соотношения масс компонентов в смеси. Шихту прессуют при давлении 500 МПа и полученные заготовки спекают при температуре 830...850°C в течение 2 ч в защитной атмосфере.

Полученный материал имеет плотность 6,5...7,5 г/см³, пористость 20...25 %. При необходимости спеченный материал подвергают динамическому горячему прессованию (ДГП), для чего заготовку нагревают кратковременно (10 мин) при температуре 800°C в атмосфере диссоциированного аммиака и уплотняют с приведенной работой уплотнения 150 МДж/м³. Пористость материала после ДГП не превышает 2...2,5%. При содержании компонентов в следующем соотношении, мас. %: стекло 5; медь 5; (бронза – остальное) получили следующие свойства.

Коэффициент трения данного материала в присутствии смазки под нагрузкой 10-30 МПа находится в пределах 0,06...0,12, износ составляет соответственно 0,01-0,25 мм/км, предел прочности материала 100 МПа. При содержании компонентов: стекло 10; медь 10; бронза – остальное достигли снижения коэффициента трения до 0,08...0,09; износ составил 0-0,08 мм/км, что в 3 раза ниже, чем в предыдущем случае, при этом предел прочности несколько снизился (80 МПа). Предлагаемый способ дает

⁴² Пат. 2090308 РФ, МКИ В22F1/00. Способ получения антифрикционных порошковых материалов / Ю.Г.Дорофеев, Б.Г.Гасанов, А.В.Бабец, А.Б.Гасанов; заявитель Новочеркасский государственный технический университет // Оpubл. 20.09.97.

возможность получить антифрикционные материалы с высокой износостойкостью, низкой стоимостью в результате замены оловянистых бронз более дешевыми бронзами.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН получил патент РФ № 2077784⁴³ на спеченный антифрикционный материал на основе меди.

Заявлен материал на основе меди, содержащий алюминий, он отличается тем, что дополнительно содержит графит при следующем соотношении компонентов, мас. %: Al 8,0...9,0; графит 1,5...2,0; Cu – остальное. Он может также дополнительно содержать железо при следующем соотношении компонентов, мас. %: Al 8,0...9,0; графит 1,5...2,0; Fe 4,0...5,0; Cu – остальное. Третий вариант исполнения материала предполагает введение дополнительно Fe₃P при следующем соотношении компонентов, мас. %: Al 8,0...9,0; графит 1,5...2,0; Fe₃P 4,0...5,0; Cu – остальное.

Научно-производственное объединение "Винт" получило патент РФ № 2072457⁴⁴ на способ изготовления подшипников. Изобретение может использоваться для изготовления экологически безопасных крупногабаритных подшипников поворотных лопастей и затворов гидроагрегатов, судовых движительно-рулевых устройств и гребных винтов регулируемого шага, работающих без смазки или на воде. Пазы для металлофторопластовых вкладышей выполняют на внутренней поверхности нержавеющей втулки. Вкладыши с вогнутой по радиусу подшипника рабочей поверхностью формуют из бронзового порошка на индивидуально пригоняемых к пазам втулки подложках из бронзы с содержанием олова не более 6,5 % в групповых пресс-формах, спекают в среде водорода, после охлаждения пропитывают суспензией фторопласта под вакуумом, сушат и полимеризуют в печи, а затем протачивают в сборе со втулкой, протравливают и повторно пропитывают, сушат и полимеризуют, после чего крепят глухими винтами заподлицо с подложкой изнутри втулки. Высокие нагрузочные и антифрикционные свойства несмазываемого металлофторопласта реализуются в серийно изготавливаемых с минимальным браком подшипниках, которые могут иметь неограниченные размеры.

В описании к изобретению отмечается, что подшипники, изготовленные известными способами, могут быть цельными или разрезными, однако изготовление крупногабаритных подшипниковых

⁴³ Пат. 2077784 РФ, МКИ C22C9/01. Спеченный антифрикционный материал на основе меди / А.П. Савицкий, Е.Н. Коростелева; заявитель Институт физики прочности и материаловедения СО РАН // Оpubл. 1997.04.20.

⁴⁴ Пат. 2072457 РФ, МКИ F16C33/14, F03B11/06. Способ изготовления подшипников. В.Ф. Васильев, В.А. Ганделев, П.С. Зюмченко и др.; заявитель Научно-производственное объединение "Винт" // Оpubл. 1997.01.27.

узлов оказывается технологически сложным и дорогим вследствие необходимости применения дефицитных материалов и крупногабаритного оборудования, а главное – большого (до 80 %) брака вследствие нарушения структуры металлокерамики в процессе калибровки и при эксплуатации. Известные способы при изготовлении несмазываемых (или смазываемых водой) металлофторопластовых вкладышей недостаточно технологичны, дороги и малопригодны в серийном производстве. Они не позволяют получать точные размеры изделия без снижения прочностных свойств спеченного материала при обработке и формовке даже на высокоточном оборудовании.

Очень узкий для металлокерамики интервал допустимых значений коэффициента остаточной деформации при калибровке давлением и под рабочей нагрузкой приводит к разрушению межзеренных связей спеченного материала, а обтачивание разрушает поверхностный слой фторопласта и "наволакивает" металл зерен на рабочую поверхность вкладыша с замещением фторопласта и потерей антифрикционных свойств. Применение в качестве материала подложки облуженной или омедненной стали или бронзы с высоким содержанием олова приводит к снижению объема фторопласта в межзеренном пространстве с одновременным ослаблением межзеренных связей в спеченном материале. Применение высокоточного крупногабаритного оборудования и большой процент брака резко удорожают производство крупногабаритных подшипников, снижают их надежность и увеличивают размеры втулок подшипников и гидроагрегатов в целом.

Задачей изобретения является согласованный выбор конфигурации и размеров металлокерамической заготовки, материалов для нее, способа калибровки и крепления вкладышей во втулке, которые исключили бы нарушение межзеренных связей и потерю антифрикционных свойств металлофторопласта как в процессе изготовления, так и при эксплуатации подшипника. Решение указанной задачи реализуется в способе изготовления подшипников, включающем выполнение пазов для вкладышей на внутренней поверхности втулки, формовку вкладышей в пресс-формах с последующими пропиткой наполнителем, сушкой, полимеризацией и обработкой в размер. Втулку выполняют из нержавеющей в воде материала, вкладыши изготавливают на подложках из бронзы с содержанием олова не более 6,5 % и пригоняют по соответствующим пазам втулки; формуют вкладыши из бронзового порошка с вогнутой по внутреннему радиусу подшипника рабочей поверхностью, спекают в среде водорода и после охлаждения на воздухе пропитывают суспензией фторопласта под вакуумом, сушат и полимеризуют в печи, а затем протачивают рабочие поверхности вкладышей в сборе со втулкой и подвергают вкладыши травлению,

повторной пропитке, сушке и полимеризации, после чего крепят во втулке индивидуально.

Дополнительно вкладыши крепят глухими винтами заподлицо с подложкой изнутри втулки.

Выбирают размеры вкладыша 1 (рис. 8.12) и соответственно количество вкладышей в подшипнике, исходя из сохранения минимальной толщины пропитываемого слоя металлокерамики 2 в середине вкладыша 1 (не менее 2 мм) при образовании вогнутой по внутреннему радиусу подшипника рабочей поверхности 3. Подложку 4 вырезают из полосовой бронзы с содержанием олова не более 6,5 % и толщиной, обеспечивающей минимальную деформацию вкладыша 1 при его креплении во втулке 5 подшипника и под рабочей нагрузкой. При необходимости подложку 4 вальцуют по выбранной форме паза 6.

Втулку 5 изготавливают из не ржавеющего в воде материала, например нержавеющей стали, бронзы и т. п. Прорезают пазы 6 на внутренней поверхности втулки 5 с учетом образования зазора 7 величиной до 3 мм между вкладышами 1 и точно пригоняют тыльные поверхности подложек 4 по индивидуальным пазам 6. Напекаемые поверхности подложек 4 облуживают.

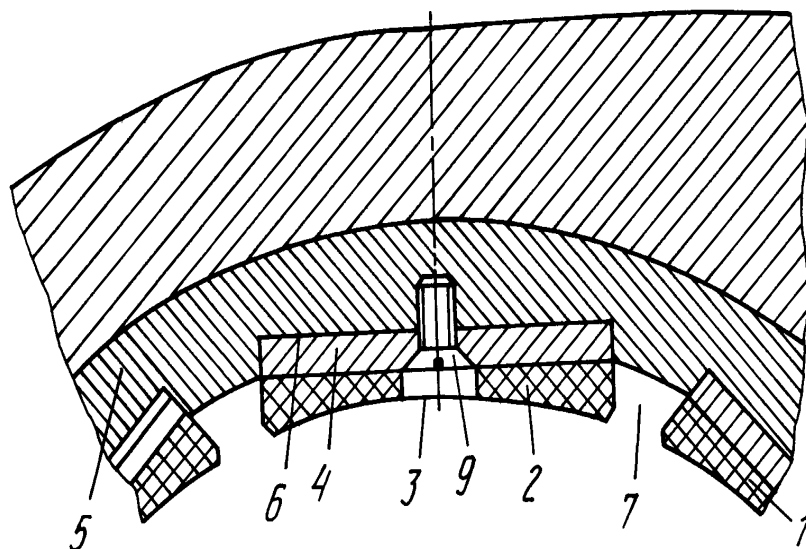


Рис. 8.12. Подшипниковый узел по патенту РФ 2072457 (сохранена нумерация первоисточника, пояснения в тексте)

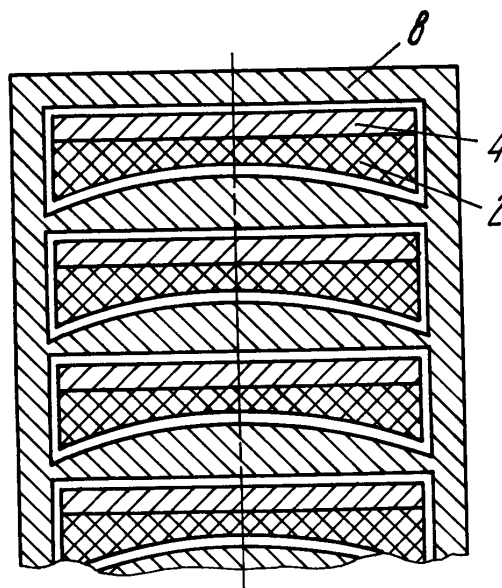


Рис. 8.13. Групповая герметизируемая пресс-форма для формования вкладышей подшипникового узла по патенту РФ 2072457 (пояснения в тексте)

Групповые герметизируемые пресс-формы 8 (рис. 8.13) изготавливают по форме и размерам вкладышей 1 и по их количеству в группе, определяемому возможностями имеющегося оборудования. Для формовки слоя металлокерамики 2 используют облуженные бронзовые порошки известных марок и применяют их по соответствующим техническим условиям. Порошок засыпают в пресс-формы 8 с уплотнением и спекают с подложками 4 в печи в среде водорода. После охлаждения на воздухе извлекают спеченные вкладыши и пропитывают в вакууме суспензией фторопласта одной из известных марок, сушат и полимеризуют в печи по режимам, предусмотренным для соответствующих материалов.

После зачистки и нарезки глухих отверстий под крепежные винты 9 вкладыши 1 раскрепляют по своим пазам во втулке 5 и протачивают рабочие поверхности 3 в сборе в точный размер подшипника. Затем вкладыши демонтируют и протравливают рабочие поверхности в кислоте или методами электрохимполировки с целью удаления неровностей, заусенцев, "намазанного" металла зерен и получения в поверхностном слое металлокерамики сферических зерен меньшего радиуса, что улучшит адгезию фторопласта с зернами и увеличит объем фторопласта в поверхностном (рабочем) слое. После этого вкладыши повторно пропитывают суспензией фторопласта, сушат и полимеризуют с получением на рабочей поверхности вкладыша пленки фторопласта с наивысшими эксплуатационными характеристиками.

По готовности комплекта вкладышей их крепят в соответствующих пазах втулки глухими винтами заподлицо с подложкой вкладыша изнутри

втулки. Изготовление подшипников гидроагрегатов по данному способу позволяет в максимальной степени реализовать высокие надежность, нагрузочные и антифрикционные характеристики металлофторопласта с обеспечением абсолютной экологической безопасности подшипниковых узлов гидроагрегатов, не требующих смазки или смазываемых водой. Кроме того, обеспечивается возможность высокотехнологичного серийного изготовления подшипниковых узлов неограниченных размеров с одновременным уменьшением их габаритов за счет индивидуального крепления вкладышей и отсутствия необходимости конструктивной организации их смазки и группового крепления. При этом зазоры между вкладышами обеспечивают вынос из зон трения мелких частиц и уменьшение износа. Упрощаются процессы ревизии и ремонта подшипниковых узлов. Высокая технологичность изготовления без использования высокоточного и крупноразмерного оборудования и резкое снижение брака позволяют существенно снизить стоимость изготовления подшипниковых узлов крупногабаритных гидроагрегатов.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН получил патент РФ № 2112068⁴⁵ на спеченный композиционный материал на основе меди. Материал предназначен для изготовления деталей антифрикционного назначения, работающих в условиях смазки и полусухого трения. Он имеет следующий состав, мас. %: медь и алюминий в сумме 30...70; медная проволока 30...70. Готовят смесь порошков алюминия, меди и проволочек, причем порошки меди и алюминия вводят в соотношении 91 : 9. Из смеси прессуют образцы, спекают их в вакуумной печи в безокислительной атмосфере при давлении не выше 10^{-2} Па при температуре 1015°C с выдержкой 30 мин. Техническим результатом является сохранение формы и размеров изделий из спеченного композиционного материала на основе меди при одновременном снижении их себестоимости и сохранении антифрикционных свойств.

Прессованные изделия из порошковых материалов на медной основе, содержащей дополнительно алюминий и железо, испытывают приращение объема при спекании тем большее, чем выше в исходной смеси концентрация алюминия и железа. Введение меньшего количества легирующих добавок несколько снижает рост спекаемых изделий, но пластичность таких материалов остается низкой.

Дело в том, что рост прессовок из такого материала обусловлен, в частности, и тем, что алюминий, взаимодействуя с частицами железа при спекании, вызывает их рост. Увеличиваясь в размерах, частицы раздвигают прилегающие области и тем самым вызывают расширение всего образца, одновременно препятствуя усадке за счет повышения

⁴⁵ Пат. 2112068 РФ, МКИ С22С1/09. Спеченный композиционный материал на основе меди / Н.М. Русин, А.И. Турова; заявитель Институт физики прочности и материаловедения СО РАН // Оpubл. 1998.05.27.

вязкости спекаемого материала. Кроме того, формирующийся на частицах железа интерметаллидный слой обладает большой дефектностью, что снижает пластичность и несущую способность материала. Действительно, известно, что диффузия алюминия в железо носит униполярный характер и приводит к образованию на частицах последнего твердого и хрупкого интерметаллидного слоя, содержащего большое количество трещин. Таким образом, материал, содержащий такие дефектные частицы, будет и сам обладать пониженной пластичностью под нагрузкой.

Для повышения износостойкости при одновременном снижении себестоимости спеченной алюминиевой бронзы целесообразно вводить в нее как можно больше твердых и дешевых частиц наполнителя. С другой стороны, наличие дефектов на границе матрица – наполнитель снижает пластичность и несущую способность изделий из такого материала и тем значительнее, чем больше концентрация подобных частиц в сплаве.

В соответствии с изобретением для сохранения размеров, а также повышения твердости и износостойкости спеченных изделий из алюминиевой бронзы в нее добавляют инертные твердые частицы или волокна. Введение значительного количества таких добавок приводит к возникновению ряда трудностей технологического характера на стадии получения и резкому падению пластичности спеченного материала.

В частности, из-за наличия большого числа твердых частиц для формования изделий из подобных смесей требуется повышенное давление, а также наблюдается повышенный износ прессового инструмента, что сказывается на себестоимости конечной продукции. Кроме того, трудно добиться равномерного распределения материала добавок в матрице.

Наилучшим решением обозначенной проблемы является введение в спекаемую смесь частиц, близких по составу к материалу матрицы, что должно обеспечить хорошую адгезию на границе матрица–наполнитель и тем самым повысить пластичность и прочность полученного материала.

Техническим результатом является сохранение формы и размеров изделий из спеченного композиционного материала на основе меди при одновременном снижении их себестоимости и сохранении антифрикционных свойств.

В 2004 г. украинским изобретателям Сергею и Дмитрию Романовым выдан патент РФ № 2224920⁴⁶ на антифрикционный материал «Романит-Н», способ его получения и элемент узла трения.

Изобретение относится к антифрикционным материалам, получаемым порошковой металлургией, применяющимся в элементах узлов трения машин, механизмов, оборудования и в токосъемных элементах. В основу изобретения поставлена задача создать

⁴⁶ Пат. 2224920 РФ, МКИ C22C9/00, C22C1/05, B22F3/16, B22F3/18, B22F7/04. Антифрикционный материал Романит-Н, способ его получения и элемент узла трения / С.М. Романов, Д.С. Романов; заявитель они же// Оpubл. 2004.02.27.

антифрикционный материал в виде спеченных порошков феррофосфора Fe_3P , железа, графита и меди с локализованными включениями гранул, содержащих медь и графит, путем подбора соотношения вышеперечисленных компонентов. Это позволяет получить антифрикционный материал, который обладает высокой механической прочностью, износостойкостью, низким коэффициентом трения и обеспечивает образование на его поверхности разделительных пленок, предотвращающих износ контактирующей пары. Другой задачей изобретения является создание способа получения антифрикционного материала с вышеперечисленными характеристиками. Еще одной задачей изобретения является создание элемента узла трения, включающего несущий элемент с напеченным слоем антифрикционного материала, который обладает высокой механической прочностью и износостойкостью.

Предложен антифрикционный материал, содержащий, мас. %: феррофосфор 0,5...5,4; железо 10,91...26,25; графит 0,16...5,16; гранулы 2,0...24,0; медь – остальное. Материал выполнен в виде спеченных порошков с локализованными включениями гранул. Гранулы имеют размер 0,4...1,6 мм и содержат меди 37,0...60,0 мас. %; графит – остальное. Материал получают гранулированием смеси порошков меди и графита с последующим смешением гранул с порошками феррофосфора, меди, графита и железа. Полученную шихту формуют и спекают. Описан элемент узла трения с напеченным слоем полученного антифрикционного материала. Техническим результатом являются высокая механическая прочность, износостойкость, низкий коэффициент трения, способность образовывать на поверхности материала разделительные пленки, предотвращающие износ контактирующей пары.

Российскому изобретателю В.Д. Зозуле выдан патент РФ № 2031173⁴⁷ на спеченный антифрикционный материал на основе меди. Предложенный материал имеет следующий состав, мас. %: алюминий 9...12; железо 10...30; графит 2...4; медь – остальное. В качестве железа материал содержит порошок стали ШХ15 или порошок сплава ХЧГ2Р4С2ФЮД.

Патент РФ № 2039110⁴⁸ выдан Костромскому технологическому институту и Совместному советско-британскому предприятию "Росбри Интернейшнл Лимитед" на спеченный антифрикционный материал на основе меди.

⁴⁷ Пат. 2031173 РФ, МКИ С22С9/01. Спеченный антифрикционный материал на основе меди / В.Д. Зозуля, В.А. Манерцев; заявитель В.Д. Зозуля, // Оpubл. 1995.03.20.

⁴⁸ Пат. 2039110 РФ, МКИ В22F3/00. Спеченный антифрикционный материал на основе меди / С.Н.Бошин, С.Р. Незамаев, В.А. Манерцев и др.; заявитель Совместное советско-британское предприятие "Росбри Интернейшнл Лимитед" и Костромской технологический институт // Оpubл. 1995.04.10.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к спеченным антифрикционным материалам на основе меди. Предложенный материал имеет следующий состав, мас. %: олово 4...6; графит 1...1,5; цинк 2...3; фтористый кальций 0,4...0,5; интерметаллид марки ПН65Х25СЗРЗ 3...5; медь – остальное.

Патент РФ № 2043866⁴⁹ выдан на способ получения пористых металлических материалов. Способ используется для изготовления спеченных пористых деталей типа втулок подшипников скольжения, фильтров и т.п. из материалов, в том числе на основе меди. Поставленная цель достигается за счет упрощения приемов воспламенения прессовок путем их объемного разогрева в камере печи, в воздушной среде, с предварительным разогревом прессовки до воспламенения в оптимальных пределах температур, а также за счет совмещения операций охлаждения и пропитки в масле. Способ может быть осуществлен на любом металлообрабатывающем предприятии, имеющем кузнечно-прессовый и термический участки.

8.4. Способы обработки порошков меди для производства изделий конструкционного назначения

Костромскому технологическому институту выдан патент РФ № 202303950 на спеченную латунь. Предложен материал следующего состава, мас. %: цинк 20,0; железо 0,3...0,6; ванадий 0,2...0,4; медь – остальное.

Фирма MITSUI MINING & SMELTING CO получила патент Японии JP2005154861⁵¹ на медный порошок с двухслойным покрытием. Порошок отличается повышенным сопротивлением к окислению и имеет пониженный коэффициент термического расширения. Первый защитный слой на каждой частице порошка представляет собой окись или закись меди, внешний слой выполнен из оксида кремния, оксида алюминия, оксида магния, оксида циркония, оксида титана и оксида цинка.

⁴⁹ Пат. 2043866 РФ, МКИ В22Ф3/12, С22С1/04. Материал скользящего контакта для электрических машин на основе меди / В.Д. Зозуля; заявитель он же // Оpubл. 1995.09.20

⁵⁰ Пат. 2023039 РФ, МКИ С22С9/04. Спеченная латунь / С.Н. Бошин, В.В. Цветков, С.Р. Незамаев и др.; заявитель Костромской технологический институт // Оpubл. 1994.11.15.

⁵¹ Pat. JP2005154861 Япония, МКИ В22Ф1/00; В22Ф1/02; В23К35/22; H01В1/22; H01В5/00; В22Ф1/00; В22Ф1/02; В23К35/22; H01В1/22; H01В5/00. Double layer-coated copper powder, method of producing the double layer-coated copper powder, and electrically conductive paste using the double layer-coated copper powder / SAKAGAMI TAKAHIKO; YOSHIMARU KATSUNIKO; заявитель MITSUI MINING & SMELTING CO // Оpubл. 16.06.05.

Китайский университет ZHONGNAN получил патент Китая CN1616694⁵² на способ получения порошка медноцинкового сплава. Порошок содержит Cu 68...93 %, Zn 6...30 % и Al 0,2...1,6 %. Из порошка изготавливают фольгу нанометрической толщины осаждением меди и цинка на очень тонкую пленку из органического материала, пленку растворяют, фольгу подвергают фрагментированию до нанометрических размеров, высушивают. Полученный порошок имеет размеры 0,1...3 мкм при размере зерна 30...100 нм.

Агентство безопасности Южной Кореи AGENCY DEFENSE DEVELOPMENT получило патент Франции FR2847909⁵³, а также патент США US2004120840 и патент Японии JP2004307996 на способ производства материала вольфрам–медь, предназначенного для изготовления электрических контактов и покрытия гранат военного назначения, имеющего гомогенную структуру. Способ включает приготовление смеси порошков вольфрама и сплава вольфрам–медь, формирование компактной заготовки с приложением давления, формирование скелета при спекании и пропитку скелета.

В описании к патенту отмечается, что для изготовления упомянутых объектов предпочтительно создание материала именно с гомогенной структурой, поскольку гетерогенное строение имеет ряд недостатков. Например, при использовании материала в военных целях его гетерогенная микроструктура приводит к анизотропии свойств, что при взрыве гранаты уменьшает взрывной эффект. Недостатки проявляются и при применении этого материала в качестве контактов.

Отличительной чертой метода является то обстоятельство, что для изготовления деталей применяются порошки сплава вольфрам–медь, полученные перемешиванием оксидов вольфрама и оксидов меди и совместным восстановлением при нагреве.

Южно-Российский государственный технический университет получил патент РФ №2167741⁵⁴ на способ изготовления низкопористых порошковых материалов.

⁵² Pat. CN1616694 Китай, МКИ B22F9/00; C22C9/04. Nano level sheet copper zinc alloy powder and its producing method / CHEN ZHENXING (CN); WANG LINGSEN (CN); заявитель UNIV ZHONGNAN // Оpubл. 18.05.05.

⁵³ Pat. FR2847909 Франция, МКИ B22F3/26; C22C1/04; H01H1/025; B22F3/26; C22C1/04; H01H1/02. Fabrication of tungsten-copper alloy with homogeneous microstructure involves powder compacting, sintering and infiltration, for high voltage electrical contact and military shell coating applications / HONG MOON HEE; CHOI JA HO; LEE SEOUNG; KIM EUN PYO; LEE SUNG HO; NOH JOON WOONG; заявитель AGENCY DEFENSE DEVELOPMENT // Оpubл. 04.06.04.

⁵⁴ Пат. 2167741 РФ, МКИ B22F3/26, B22F8/00. Способ изготовления низкопористых порошковых материалов / Ю.Г.Дорофеев, С.Н.Сергеенко, А.В.Ганшин; заявитель Южно-Российский государственный технический университет // Оpubл. 10.04.01.

Способ включает формование двухслойной пористой порошковой заготовки путем засыпки в пресс-форму порошка подложки и его подпрессовки давлением 50...400 МПа с последующей засыпкой легкоплавкого материала 15...25 % от массы подложки и окончательного прессования, ее спекание, совмещенное с пропиткой. При этом в качестве легкоплавкого материала поверхностного слоя двухслойной заготовки используют стружковые отходы цветных сплавов на основе меди, а давление окончательного прессования двухслойной заготовки составляет 600...800 МПа. Способ позволяет снизить себестоимость получения композиционных материалов при утилизации стружки цветных металлов.

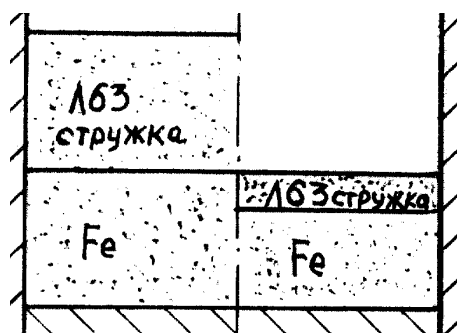


Рис. 8. 14. Схема осуществления способа изготовления низкопористых порошковых материалов по патенту РФ №2167741 (пояснения в тексте)

В одном из примеров способа описана следующая совокупность приемов:

- засыпка в пресс-форму железного порошка (20 г) ПЖВ и его подпрессовка давлением 200 МПа (рис. 8.14);
- засыпка элементной стружки латуни Л63 (5 г, 25 мас. %);
- окончательное прессование двухслойной заготовки давлением 800 МПа;
- спекание в среде диссоциированного аммиака в течение 2 ч при температуре 1180°C.

Композиционный материал после спекания, совмещенного с пропиткой, имеет остаточную пористость 2,2% и предел прочности на изгиб 880 МПа.

Материал содержит медь, титан, гидрид титана и углерод при следующем соотношении компонентов, мас. %: титан 1...4; гидрид титана 0,5...1,0; углерод 0,15...0,35; медь – остальное. Изобретение может быть использовано в машиностроительной, химической и электротехнической промышленности, например, для изготовления электродов контактной сварки.

Введение в состав композиционного материала углерода улучшает технологические свойства порошковой смеси, например, при механическом легировании (предотвращает перегрев атриторов за счет снижения трения между частицами порошков и мелющихся элементов – шаров и между частицами порошков, шаров и стенками рабочего объема атритора). Кроме того, углерод, соединяясь с титаном при нагреве, образует дисперсные частицы карбидов титана.

Введение в композиционный материал гидрида титана позволяет защищать от окисления при нагреве брикетов и частично восстанавливать оксиды в медной матрице. Гидрат титана, содержащий 3,4...3,6 % водорода, является хорошим восстановителем оксидов.

Шихту в виде гранул получают механическим легированием порошковых компонентов системы Cu-Ti-C в атриторе емкостью 45 л. Гранулы после механического легирования смешивают с порошком гидрата титана. Холодное прессование из смеси брикета в виде цилиндра диаметром (50...70) мм длиной 100...200 мм с плотностью 6,7...7,0 г/см³ осуществляют в металлической пресс-форме при давлении 700...800 МПа. Полученный брикет помещают в капсулу в виде стакана с рабочим пространством, равным объему брикета, с минимальными зазорами между стенками капсулы и брикета и нагревают в электропечи в атмосфере воздуха при температуре 820...900°C в течение 30...60 мин в зависимости от объема брикета. Затем нагретый брикет подвергают горячей деформации – экструзии с получением прутков диаметром 13,5...17,5 мм при плотности материала 8,6...8,7 г/см³.

Та же организация получила патент РФ № 2117062⁵⁵ на способ изготовления дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе меди.

Порошок меди с легирующими добавками, например порошком титана или алюминия, подвергают механическому легированию в атриторе. В порошок меди с легирующими добавками добавляют твердую смазку в виде порошка графита. Полученные гранулы смешивают в течение 5...10 мин в смесителе с порошком геттера – поглотителя влаги и газов, играющего роль восстановителя избыточных оксидов меди. В качестве геттера используют порошок гидрида титана (TiH₂) в количестве 0,5...1,0 мас.%. После смешивания порошковую смесь подвергают холодному компактированию в брикеты в металлической оснастке при давлении 0,7...0,8 МПа. Полученные брикеты с плотностью более 80 % от теоретической плотности нагревают при 820...900°C в течение 30...60 мин. Брикеты в рабочем пространстве при нагреве накрывают контейнерами в виде стаканов с зазорами между брикетом и внутренним пространством

⁵⁵ Пат. 2117062 РФ, МКИ С22С1/04. Дисперсно-упрочненный композиционный материал / С.Д. Куимов, В.А. Иванов, Н.А. Федотов и др.; заявитель Уральский научно-исследовательский институт композиционных материалов // Оpubл. 1998.08.10.

стакана 5...10 по диаметру и 10...15 мм по высоте. Для уплотнения нагретого материала брикет подвергают горячей деформации, например, экструзии в металлической оснастке, нагреваемой до 400...420°C. Изобретение позволяет повысить физико-механические характеристики материала.

АООТ "Металлургический холдинг" выдан патент РФ № 2159297⁵⁶ на способ получения дисперсно-упрочненного композиционного материала.

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к дисперсно-упрочненным композиционным материалам на основе меди, и может быть использовано в машиностроении, химической и электротехнической промышленности, например, для изготовления деталей сварочной техники. Материал по варианту 1 содержит медь, алюминий, углерод, гидрид титана, и в него дополнительно вводят магний, находящийся в составе сплава или лигатуры с алюминием или медью, при следующем содержании компонентов, мас. %: алюминий 0,15...0,75; углерод (графит) 0,15...0,35; гидрид титана 0,30...0,75; магний 0,10...0,30; медь – остальное. По варианту 2 материал содержит медь, титан, гидрид титана, углерод, и в него дополнительно вводят магний, входящий в состав сплава или лигатуры меди с магнием, при следующем содержании компонентов, мас. %: титан 1...4; гидрид титана 0,5...1,0; углерод (графит) 0,15...0,35; магний 0,10...0,30; медь – остальное. Использование изобретения позволяет повысить качество контактной точечной сварки конструкционных и нержавеющей сталей, а также цветных металлов, увеличить срок службы электродов.

В основу изобретения поставлена задача получения дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе меди с высокими физико-механическими свойствами, а также устранение электрохимической эрозии электродов за счет образования на их контактной поверхности прочной оксидной пленки.

Решение данной задачи позволит улучшить эксплуатационные характеристики электродов, повысить их стойкость, улучшить качество сварки, устраняя прилипание контактной поверхности электродов к свариваемым материалам, что особенно важно при сварке цветных металлов и покрытых сталей (например, оцинкованных), так как не происходит облатунивания поверхности пятна контакта.

Введение магния в состав дисперсно-упрочненного композиционного материала на основе меди снижает электрохимическую эрозию и прилипание электродов к свариваемой поверхности за счет образования при высокой температуре прочной оксидной пленки на

⁵⁶ Пат. 2159297 РФ, МКИ C22C9/00, C22C1/10. Дисперсно-упрочненный композиционный материал / В.А.Ягуткин, С.Д. Куимов; А.В. Филонов; заявитель АООТ "Металлургический холдинг"// Оpubл. 2000.11.20.

контактной поверхности электродов, не снижая при этом их электропроводности и механических свойств. Образование устойчивой оксидной пленки на всей контактной поверхности электрода происходит за счет очень быстрого окисления магния при взаимодействии последнего с атмосферным кислородом, в результате повышается стойкость электродов и качество сварки, не происходит облатунивания поверхности пятна контакта, что особенно важно при сварке цветных металлов и покрытых сталей. Введение магния в заявляемый состав материала в виде сплава или лигатуры с алюминием или медью объясняется самовоспламеняемостью магния, и поэтому применение его в чистом виде невозможно.

Алюминий вводится в состав материала электродов, используемых в более легких режимах сварки, при невысоких токах и давлениях, при сваривании нержавеющей, конструкционных, покрытых сталей, и, главным образом, цветных металлов. Таким образом, введение в состав материала магния и алюминия является достаточным для решения поставленной задачи.

Гранулят композиционного материала получали механохимическим легированием исходных порошков в атриторе емкостью 15000 см³. При изготовлении гранулята были использованы следующие порошки: медь марки ПМС-1 по ГОСТ 4960-75; углерод марки ПП-1 по ГОСТ 5592-71; порошок сплава Al-Mg марки АМД-50М по ТУ 48-5-176-78. Холодное компактирование гранулята в брикеты размером 60x100 мм, осуществляли в металлической пресс-форме при давлении 600...700 МПа. Плотность полученных брикетов составляла 6,7...7,0 г/см³. Далее брикеты нагревали в индукционной печи до температуры 820...850°C в течение 10...15 мин. Необходимо отметить, что при кратковременном нагреве брикетов в индукционной печи реакционная способность магния снижается незначительно, что и позволяет в дальнейшем получать окисную пленку на контактной поверхности электродов. Нагретые брикеты прессовали на прутки 26 мм с коэффициентом вытяжки 20 в металлической оснастке, заранее подогретой до температуры 420...450°C. Плотность отпрессованных прутков составляла 8,6...8,7 г/см³.

Стойкость электродов оказалась на 15...20% выше стойкости электродов из литых бронз марок БрХ1Цр, БрХ0,7 и БрБНТ.

Авторам изобретения «Композиционный материал на основе меди и способ его изготовления» выдан патент РФ № 2074898⁵⁷. Предложенный композиционный материал на основе меди содержит оболочку, выполненную из меди, и сердцевину, полностью охваченную оболочкой и состоящую из медной матрицы с равномерно распределенными в ней частицами оксида металла, при этом в качестве оксидов он содержит, по

⁵⁷ Пат. 2074898 РФ, МКИ С22С1/10, С22С32/00, С22С9/00, В22F3/20. Композиционный материал на основе меди и способ его изготовления / М.И. Доперчук, Д.Г. Сергеев; заявитель авторы // Оpubл. 1997.03.10.

крайней мере, один оксид металла, выбранный из группы, содержащей оксид алюминия, оксид титана и оксид гафния.

Средняя величина оксидов не превышает 50 нм, а площадь, занимаемая оболочкой, составляет не менее 10% от площади поперечного сечения материала. Предпочтительное содержание оксида алюминия составляет 0,15...1,4% по массе, еще более предпочтительное 0,19...1,2% по массе. Предпочтительное содержание оксидов титана и/или гафния составляет 0,06...0,85% по массе, еще более предпочтительное 0,1-0,8% по массе. Оксиды алюминия, гафния и титана могут находиться в материале совместно, их предпочтительное содержание составляет 0,123...1,42% по массе, еще более предпочтительное 0,85...1,08% по массе. При этом соотношение $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{HfO}_2:\text{TiO}_2$ составляет (4...10):1:1, а средняя величина оксидов не превышает 10 нм. Материалы, полученные по известным способам, имеют ограничения, связанные с невозможностью абсолютно однородно перемешать окислитель и порошок сплава. В областях с избыточной концентрацией окислителя остается недиссоциировавший порошок оксида меди, а в областях с недостаточной по сравнению с требуемой концентрацией окислителя остаются частицы сплава медь-алюминий, где внутреннее окисление полностью не прошло. Избыточные частицы оксида меди и неокисленные частицы сплава сохраняются в конечном продукте и могут привести к снижению физических, механических и технологических свойств.

Предложенный способ изготовления композиционного материала включает выплавку сплава на основе меди, по крайней мере, с одним металлом, выбранным из группы, содержащей алюминий, титан и гафний в количестве, не превышающем 0,8% по массе, диспергирование сплава с получением частиц порошка соседним размером до 150 мкм и с максимальным размером 315 мкм, внутреннее окисление порошка при температуре 700...950°C на воздухе. После этого проводят восстановительный отжиг и экструзию порошка в оболочке при 700...950°C с коэффициентом вытяжки не менее 10 до получения композиционного материала.

Под внутренним окислением понимают способ дисперсного упрочнения металлов, заключающийся в избирательном окислении наиболее активных элементов сплава при его диффузионном насыщении кислородом.

Порошок может быть получен как сферической, так и пластинчатой формы. Внутреннее окисление может быть полным или неполным. Восстановительный отжиг после полного внутреннего окисления проводят при температуре 600...950°C, после неполного внутреннего окисления при температуре 250...600°C. Восстановительный отжиг может происходить в атмосфере водорода или диссоциированного аммиака, либо в атмосфере $\text{CO}+\text{CO}_2$; этот отжиг может происходить как непосредственно после

внутреннего окисления, так и после загрузки окисленного порошка в контейнер. Во втором случае в контейнер вместе с порошком помещают материал, способный при нагреве создавать эту атмосферу.

Увеличение концентрации легирующих элементов, а также среднего и максимального размеров порошка приводит к существенному росту среднего размера оксидов и, как следствие, к снижению прочностных свойств материала. Уменьшение концентрации легирующих элементов не обеспечивает существенного упрочнения меди после внутреннего окисления, а уменьшение допустимого размера порошка значительно снижает выход годного. Уменьшение толщины медной "рубашки" в ряде случаев приводит к появлению трещин при холодной штамповке конечного полуфабриката и к снижению его тепло- и электропроводности.

Порошок сплава подвергается окислению на воздухе при температуре 700...950°C. При этих температурах происходит образование на поверхности каждой порошинки слоя оксидов меди и одновременно окисление легирующих элементов внутри каждой порошинки кислородом, диффундирующим с границы оксид меди-сплав (внутреннее окисление). При более низких температурах внутреннее окисление идет слишком медленно и наблюдается предпочтительное окисление по границам зерен, ведущее к снижению свойств полуфабриката. Соотношение концентраций легирующих элементов в сплаве обеспечивает слабый рост среднего размера образующихся оксидов при увеличении температуры окисления. Окисление при температурах выше 950°C может вызывать рост оксидов и не исключает опасность оплавления порошка.

Время завершения процесса определяется временем полного внутреннего окисления наиболее крупных порошинок сплава и может быть рассчитано по формуле, учитывающей форму и размер порошка, а также концентрации всех оксидообразующих элементов в сплаве.

В некоторых специальных случаях требуется неполное внутреннее окисление легирующих элементов (на 60...80%), чтобы предотвратить водородную хрупкость полуфабрикатов. В этих случаях частично неокисленные элементы служат геттером для связывания свободного кислорода на стадии получения полуфабриката, что приводит к исключению свободного кислорода на стадии получения полуфабриката и, как следствие к исключению охрупчивания полуфабриката после отжига в водороде. Степень внутреннего окисления на 60...80% обусловлена тем, что при меньшей степени окисления значительно снижаются прочностные характеристики материала, а при большей начинают проявляться признаки "водородной болезни".

Обработка окисленного порошка в восстановительной атмосфере (например, водорода или диссоциированного аммиака) должна обеспечивать удаление с поверхности порошинок избытка оксидов меди. Если проводилось полное внутреннее окисление, то восстановление

целесообразно проводить при повышенных температурах (выше 600°C), чтобы сократить время, однако при температурах выше 950°C происходит очень сильное спекание порошка. При неполном внутреннем окислении восстановительный отжиг необходимо проводить при температуре ниже 600°C, чтобы исключить доокисление легирующих элементов за счет избыточных оксидов меди. Снижение температуры восстановления ниже 250°C приводит к чрезмерному увеличению времени завершения процесса. Восстановленный порошок помещается в медный контейнер таким образом, чтобы относительная плотность засыпки составляла не менее 50 %. Контейнер с порошком закрывается крышкой и подвергается горячей экструзии при температурах 700...950°C со степенью вытяжки не менее 10. При более низких температурах и меньших степенях вытяжки не удастся обеспечить надежного диффузионного соединения отдельных порошинок между собой и со стенками контейнера, что отрицательно сказывается на свойствах полуфабриката. Кроме того, в этом случае требуется более мощное прессовое оборудование, что приводит к удорожанию процесса. В случае засыпки порошка с плотностью менее 50% уменьшается выход годного и возможно образование дефектов на конечном полуфабрикате в виде внутренних пузырей и вздутий поверхности. Толщина стенок контейнера выбирается таким образом, чтобы величина медной "рубашки" на конечном полуфабрикате составляла не менее 20% от площади его поперечного сечения, что обеспечивает высокую технологичность (например при последующей сложной холодной штамповке наконечников сварочных электродов) и повышает общую тепло- и электропроводность полуфабриката.

Кроме того, предлагаемое техническое решение позволяет получать полуфабрикаты по упрощенной технологической схеме, когда порошок подвергается восстановительной термообработке непосредственно в медном контейнере за счет помещенного между порошком и крышкой контейнера специального материала, способного образовывать при нагреве в контакте с оксидом меди восстановительную атмосферу $\text{CO} + \text{CO}_2$. В этом случае порошок подвергается сначала полному внутреннему окислению, а затем происходит совмещение восстановительного отжига и нагрева контейнера с порошком под экструзию. Относительно невысокая плотность порошка в засыпке обеспечивает свободный доступ восстановительной атмосферы к поверхности всего объема порошка, а также внутренней поверхности контейнера, что приводит к полному восстановлению избыточных оксидов меди и хорошей диффузионной свариваемости порошинок между собой и со стенками контейнера в процессе экструзии. После экструзии остатки материала, обеспечивающего восстановительную атмосферу, оказываются в пресс-остатке и легко отшлаковываются при последующем переплаве.

Американская корпорация SCM CORPORATION получила патент США № 4478787⁵⁸ на способ изготовления дисперсионно-упрочняющегося материала. Материал по данному патенту состоит из тонкой металлической оболочки и дисперсноупрочненной сердцевины, выполненной из сплава меди, содержащего 0,1...4% по массе алюминия в виде дисперсных частиц оксида алюминия. Способ изготовления этого материала включает следующие операции: заполнение металлической капсулы, образующей оболочку, порошком дисперсно-упрочненной меди, содержащей 0,1...5% по массе оксида алюминия, и многократное обжатие со степенью деформации 15...35% до тех пор, пока плотность порошка не достигнет 90% от расчетной величины.

Из полученного материала изготавливают компоненты рентгеновской аппаратуры трансформаторов, магнетронов, волноводов, электрических генераторов, работающих в среде охлаждающего водорода, и другие элементы прецизионного исполнения.

Немецкая фирма SINTERMETALLWERK KREBSOGE GMBH получила патент США № 5125962⁵⁹ на спеченный материал на основе меди, его применение и метод производства изделий из этого материала.

Материал имеет повышенное сопротивление термическим нагрузкам и механическим деформациям, в особенности при ударах и повышенном трении. Он содержит 70...100% меди и 0.300 % другого компонента из списка: кобальт, хром, железо, марганец, никель, вольфрам и/или углерод. Материал предназначен для изготовления аппаратуры, работающей при повышенных температурах, например для изготовления направляющих опор в устройствах сжигания топлива.

Как показано на рис. 8.15, из порошкового спеченного материала выполняют посадочное кольцо 16 и седло клапана 17, которые подвергаются большим тепловым нагрузкам и механическому воздействию во время работы двигателя внутреннего сгорания.

⁵⁸ Pat. 4478787 USA, МКИ В22F 7/08. Method of making dispersion strengthened metal bodies and product / Nadkarni; Anil V., Samal; Prasanna K., Wang; James C., Sunk; James E.; заявитель SCM CORPORATION // Оpubл. 1984.10.23.

⁵⁹ Pat. 5125962 USA, МКИ С22С 1/04; С22С 32/00. Copper-based sintered material, its use, and method of producing molded parts from the sintered material / Krentscher Bernd; заявитель SINTERMETALLWERK KREBSOGE GMBH// Оpubл. 1992.06.30.

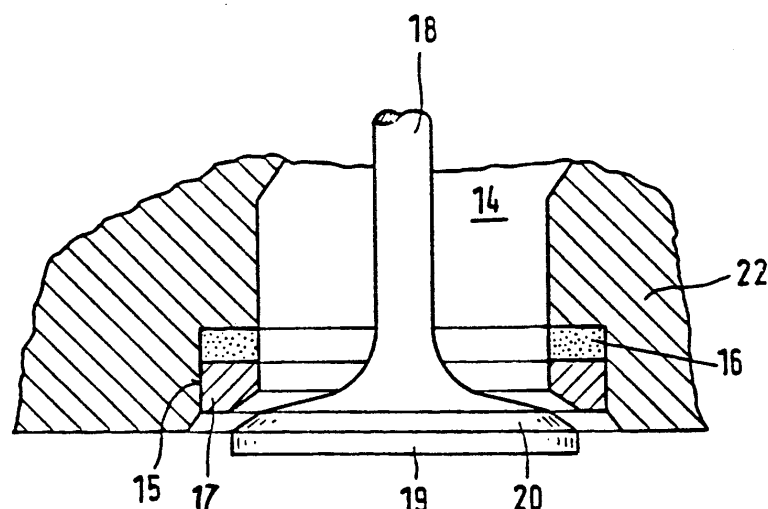


Рис. 8.15. Применение спеченного жаропрочного материала на медной основе в двигателе внутреннего сгорания по патенту США № 5125962 фирмы SINTERMETALLWERK KREBSOGE GMBH (сохранена нумерация описания к патенту): 14 – полость клапана; 15 – гнездо клапана; 16 – посадочное кольцо; 17 – седло клапана; 18 – клапан; 20 – головка клапана; 22 – головка цилиндра.

Дочерняя фирма TAIHO KOGYO CO LTD японского концерна TOYOTA получила патент США № 4941919⁶⁰ на спеченный материал на основе порошковой меди и метод его производства.

Материал на основе меди одержит 0,1...10% графита и 1...7% глинозема. Дополнительно он содержит хотя бы один из материалов: 1...10% олова, 1...30% свинца, и/или не более 1% фосфора, при этом глинозем диспергирован в медной матрице. Частицы глинозема не имеют выхода на поверхность контакта скользящих тел.

На рис. 8.16 показаны частицы меди 1, по границам которых расположен графит 2, а внутри частиц меди расположены частицы глинозема 3. Позицией 4 показана поверхность скольжения, на которой нет посторонних частиц.

⁶⁰ Pat. 4941919 USA, МКИ C22C 32/00. Copper-based sliding material and method for producing the same / Asada; Eiji (Toyota, JP), Tomikawa; Takashi (Toyota, JP), Fukuoka; Tatsuhiko; заявитель TAIHO KOGYO CO LTD // Оpubл. 1990.07.17.

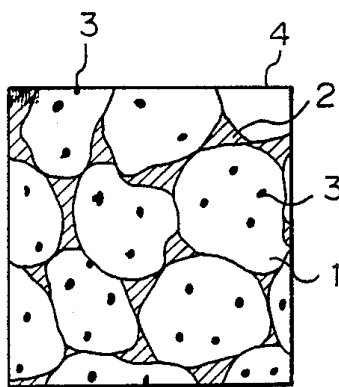


Рис. 8.16. Морфология частиц в порошковом материале на медной основе фирмы ТАЙНО KOGYO CO LTD японского концерна TOYOTA по патенту США № 4941919

Твердые частицы глинозема располагаются внутри мягкой меди и упрочняют в целом материал. Если бы они располагались также на наружной поверхности, то оказывали бы абразивное действие на трущиеся детали. Но на контактную поверхность имеют выход только частицы меди, обеспечивая низкий коэффициент трения и минимальный износ. Дополнительные добавки упрочняют либо медь на уровне образования сплава, либо при внутреннем окислении механически упрочняют матрицу на уровне оксидов.

ООО "Научно-технический центр прикладных нанотехнологий" в г. Санкт-Петербурге получило патент РФ № 2281341⁶¹ на спеченный композиционный материал.

Изобретение относится к порошковой металлургии, а именно к спеченным композиционным материалам на основе некарбидообразующих металлов, содержащим антифрикционный накопитель. Данные материалы используются для изготовления токопроводящих узлов трения, коммутирующих электрических контактов, в частности токосъемных узлов электротранспорта. Спеченный композиционный материал содержит металлическую матрицу из некарбидообразующего металла, графит 3...10 мас.%, термореактивную смолу 0,1...2,0 мас.%, полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа 0,005...0,2 мас.%. Полиэдральные многослойные углеродные наноструктуры фуллероидного типа имеют межслоевое расстояние 0,34...0,36 нм, средний размер частиц 60...200 нм и удельное электросопротивление не более $2,5 \times 10^{-4}$ Ом·м⁻¹ при давлении 120 МПа.

В качестве термореактивной смолы материал содержит эпоксидную или фенолформальдегидную смолу. В качестве металлической матрицы –

⁶¹ Пат. 2281341 РФ, МКИ C22C1/04. Спеченный композиционный материал / А.П. Пономарев, В.А. Никитин, А.И. Паутов и др.; заявитель ООО "Научно-технический центр прикладных нанотехнологий" // Оpubл. 2006.08.10.

медь, никель или нержавеющей сталь. Технический результат – повышение износостойкости как композиции, так и контртела при сохранении низкого удельного электрического сопротивления композиционного материала.

Армия США получила патент своей страны № US5470373⁶² на порошок меди, защищенный от окисления. Защита частиц меди осуществляется с помощью, по крайней мере, одного из металлов, имеющих валентность от +2 до +3 и имеющих скрытую энергию активации за счет нахождения в форме гидроксида. Металл выбирается из следующего списка: никель, кобальт, железо, марганец, кадмий, цинк, олово, магний, кальций и хром. Процесс подготовки частиц включает шаги растворения соли меди и соли, по крайней мере, одного из перечисленных металлов в подходящем растворителе, формирование первичных частиц меди и одного из металлов в форме основания за счет смешивания солей в щелочи, отделение, промывку, сушку частиц, восстановление до металла, термическую обработку частиц при повышенной температуре.

Японская фирма ТАЙНО KOGYO CO LTD получила патент США № US5279638⁶³ на антифрикционный материал. Спеченный порошковый материал на основе системы Cu-Sn имеет улучшенное сопротивление износу. Его получают путем добавки 0,1...30% материалов, входящих в три группы. Первую группу образуют материалы из списка Fe₂P, Fe₃P, FeB, Fe₂B, Mo, Co. Вторую группу – SiC, TiC, WC, B₄C, TiN, кубический BN, Si₃N₄, SiO₂, ZrO₂ и Al₂O₃. В третью группу входят Si-Mn, Cu-Si и FeS.

Научно-производственное предприятие "Технология" запатентовало спеченную легированную латунь (патент РФ № 2051195⁶⁴). Материал представлен как износостойкий и противостоящий явлению схватывания на контакте.

Изобретение относится к спеченным легированным материалам на основе меди. Латунь содержит, мас. %: цинк 19...21; железо 5...15; хром, марганец, бор, кремний, ванадий и алюминий в виде самофлюсующегося сплава ПР - Х4Г2Р4С2ФЮД 0,1...5 и медь – остальное. Хром, марганец, бор, кремний, ванадий и алюминий вводят в шихту в составе порошка самофлюсующегося сплава на основе железа, материал получают методом порошковой металлургии. После прессования и спекания материал имеет

⁶² Pat. US54703731 USA, МКИ B22F9/22; C22C1/04; H01B1/02; B22F9/16. Oxidation resistant copper / EDELSTEIN ALAN S (US); KAATZ FORREST H (US); HARRIS VINCENT G (US); заявитель US ARMY (US) // Оpubл. 1995-11-28.

⁶³ Pat. US5279638 USA, МКИ B22F7/00; B22F1/00; C22C9/02; C22C32/00; F16C33/04; F16C33/12. Sliding material / ASADA EIJI (JP); OGINO HIROMI (JP); заявитель ТАЙНО KOGYO CO LTD // Оpubл. 1994-01-18.

⁶⁴ Пат. 2051195 РФ, МКИ C22C9/04. Спеченная легированная латунь на основе меди / В.В. Цветков, С.Н. Бошин, С.Р. Незамаев и др.; заявитель Научно-производственное предприятие "Технология" // Оpubл. 1995.12.27.

структуру α -твердого раствора цинка в меди, легированного марганцем, хромом, кремнием, бором, алюминием и ванадием, с интерметаллидами углерода и цинка. Может быть использован для изготовления деталей конструкционного назначения.

Американские фирмы DAIDO METAL CO (US) и KAYABA INDUSTRY CO LTD при участии японских исследователей запатентовали антифрикционный материал на основе меди (патент США № US6303235⁶⁵). Материал представлен как износостойкий и противостоящий явлению схватывания на контакте.

Свинец в количестве 2...30 мас.% в качестве отдельной фазы равномерно распределен по объему. Свинцовая фаза содержит 0,1...6 об. % твердых частиц, таких как SiC, SiO₂, Si₃N₄, Al₂O₃, TiC, WC и TiN. Средний размер этих частиц составляет величину 5...25 мкм. Поскольку твердые частицы находятся в фазе свинца, а не меди, уменьшается износ и повышается сопротивление схватывания. Фаза свинца является мягкой и служит в качестве подушки, препятствующей внедрению твердых частиц со стороны контртела.

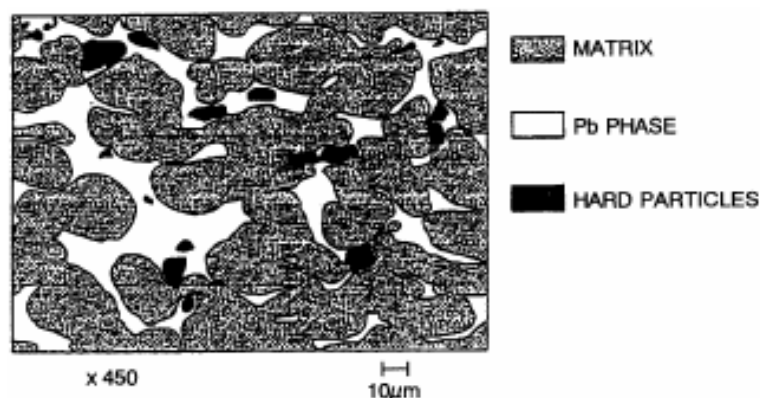


Рис. 8.17. Структура порошкового сплава на медной основе фирм DAIDO METAL CO (US) и KAYABA INDUSTRY CO LTD по патенту США № US6303235: серый фон – матрица из меди; светлые фрагменты – свинец; черные вкрапления – упрочняющие частицы

На рис. 8.17 видно, что темные твердые частицы расположены внутри светлых частиц свинца, а не в серой медной матрице. Вынос мягкой фазы минимизирован за счет ее укрепления твердыми частицами из указанного выше списка.

⁶⁵ Pat. US6303235 USA, МКИ B22F5/00; B22F7/04; C22C1/04; C22C1/05. Copper-based sliding alloy / KAWAKAMI NAOHISA (JP); HIGUCHI TSUKIMITSU (JP); SATO YOSHIKAKI (JP); SHIBAYAMA TAKAYUKI (JP); MIZUNO KEIZO (JP); YAMANOUCHI KENJI (JP); заявитель DAIDO METAL CO (US); KAYABA INDUSTRY CO LTD (US)// Оpubл. 2001-10-16.

Изобретатели из Германии MARTIN ULRICH, KUDASHOV DIMITRY, HEILMAIER MARTIN в патенте № DE10255568⁶⁶ предложили процесс производства пористого продукта из волокон меди для создания материала, подходящего для процесса горячего прессования, изостатического прессования, экструзии иликовки.

Способ предполагает применение приема механического легирования порошка меди с приложением больших сдвиговых деформаций. Процесс горячей обработки осуществляется в условиях вакуума при температуре 800...1000°C.

Фирма FUKUDA METAL FOIL POWDER получила патент Японии № JP2001181753⁶⁷ на медный порошок, обеспечивающий достижение высокой конструкционной прочности.

Порошок представляет собой композицию (рис.8.18), содержащую, мас.‰: 1...6% Co, 5...12 Sn, и имеет плотность не более 3,5 г/см³.

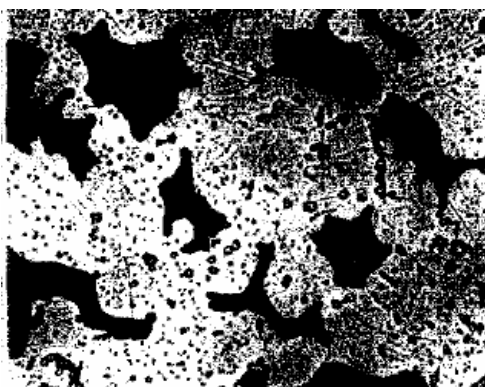


Рис. 8.18. Порошок фирмы FUKUDA METAL FOIL POWDER для производства деталей повышенной прочности по патенту Японии № JP2001181753

Американская фирма BRUSH WELLMAN в патенте США №US5901336, а также в европейском патенте № EP0829321⁶⁸ предложила способ соединения заготовок бериллия и меди с использованием приемов порошковой металлургии. В соответствии с изобретением создаются

⁶⁶ Pat. DE10255568 Германия, МКИ C22C1/10; C22C32/00. Process for production of a porous semifinished product from fiber reinforced copper based materials for building materials involves subjecting copper powder to hot pressing, isostatic hot pressing or extrusion and pressing / MARTIN ULRICH, KUDASHOV DIMITRY, HEILMAIER MARTIN; заявитель: они же // Оpubл. 2004-06-17.

⁶⁷ Pat. JP2001181753 Япония, МКИ C22C1/04; C22C1/04. Alloy powder for copper series high strength sintered parts / KIKUKAWA SHINRI; NIIMI YOSHIRO; IWAZU OSAMU; заявитель: FUKUDA METAL FOIL POWDER // Оpubл. 2001-07-03.

⁶⁸ Pat. EP0829321 Европа, МКИ B22F7/06; B23K35/00. Bonding beryllium to copper alloys using powder metallurgy compositional gradients /; DOMBROWSKI DAVID; заявитель: BRUSH WELLMAN // Оpubл. 1998-03-18.

переходные слои порошков бериллия и меди переменного химического состава (рис.8.19), при этом каждый слой содержит смесь порошка бериллия и порошка меди. Процесс на завершающей стадии происходит за счет технологии горячей консолидации, например, горячим изостатическим прессованием, вакуумным горячим прессованием в температурном интервале 500...800°C.

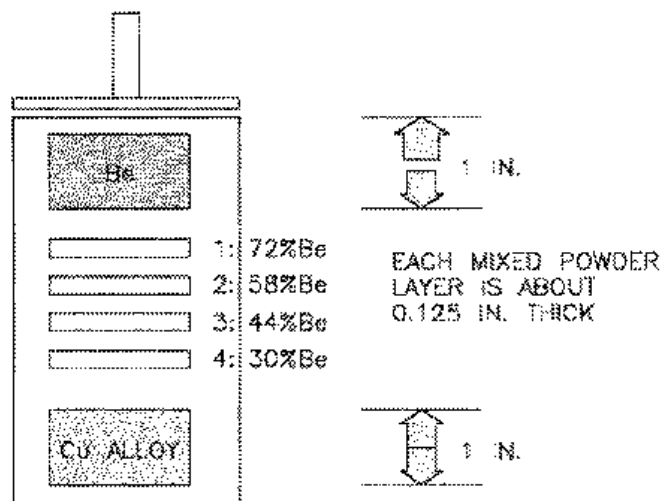


Рис. 8.19. Схема процесса фирмы BRUSH WELLMAN по европейскому патенту № EP0829321: 1, 2, 3, 4 – слои, содержащие медь и бериллий с понижением его содержания, справа изображена толщина слоев в дюймах

Получаемые этим способом материалы используют в ядерной технике, где учитываются уникальные свойства бериллия: высокая теплопроводность, характер взаимодействия с тритием и т.д.

Фирма MITSUYA SEIKO KK в патенте Японии № JP11350008⁶⁹ предложила спеченный материал на основе меди. Материал используют при необходимости снижения износа. В материале использованы вольфрам и синтетическая резина, которая заключена в поры при создании заготовки с низкой плотностью. Содержание вольфрама находится в пределах 3...13 мас.%. Материал 11 (рис. 8.20) образует спеченный слой на стальной подложке 12.

Зерна вольфрама 14 спечены в бронзовой матрице 13 в гранулированном состоянии. Часть вольфрамовых зерен локально размещены на поверхности 15 матрицы для формирования поверхности скольжения 16.

⁶⁹ Pat. JP11350008 Япония, МКИ F16C33/10; B22F5/00; B22F7/00; C22C9/02; F16C33/12. Sintered copper alloy sliding material / HANABUSA SABURO; KOIKE TETSUO; заявитель MITSUYA SEIKO KK // Оpubл. 1999-12-21.

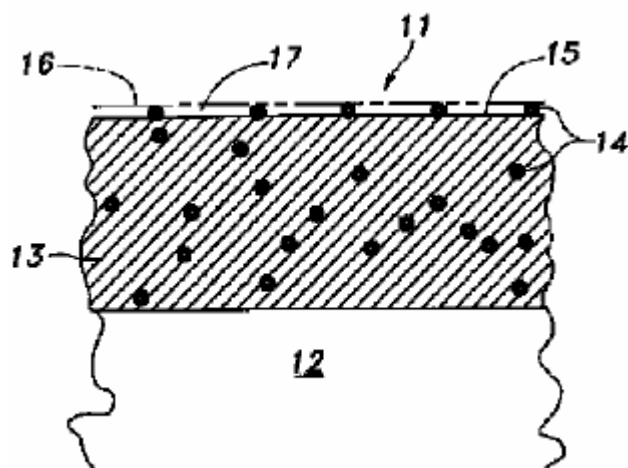


Рис. 8.20. Схема размещения составляющих компонентов материала по патенту № JP11350008 фирмы MITSUYA SEIKO KK (сохранена нумерация описания к патенту, пояснения в тексте)

Фирмы TOYOTA MOTOR CORP; TOYOTA CENTRAL RES & DEV в патенте Японии № JP10330868⁷⁰ предложили спеченный материал на основе меди с добавками свинца. Предложена композиция, которая содержит, мас. %: 5...50 висмутовой фазы, состоящей из висмута или висмутового сплава, а также сбалансированной медной фазы, состоящей из меди или сплава меди (рис.8.20).

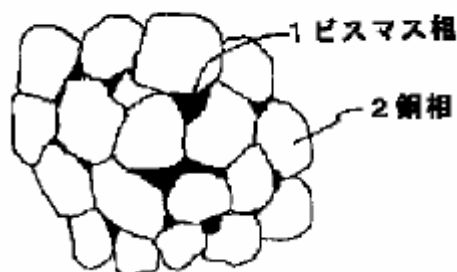


Рис. 8.20. Схема размещения составляющих компонентов материала по патенту № JP10330868 фирмы TOYOTA MOTOR CORP: 1 – фаза висмута; 2 – фаза меди

Предпочтительно фаза висмута исполнена в виде сплава, содержащего не более 20% Sn, не более 10% Ag, and не более 5% In. Сплав может быть получен смешиванием медного порошка или порошка медного сплава с порошком висмута или сплава висмута в описанной выше пропорции. Далее следуют операции компактирования и спекания при температуре около 800°C в атмосфере Ar.

⁷⁰ Pat. JP10330868 Япония, МКИ C22C1/04; B22F5/00; C22C9/00; F16C33/12; C22C1/04. Copper-base sintered alloy / MICHIOKA HIROBUMI; FUWA YOSHIO; SHIMURA YOSHIO; HOTTA SHIGERU; заявитель: TOYOTA MOTOR CORP; TOYOTA CENTRAL RES & DEV // Оpubл. 1998-12-15.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды порошков используются для изготовления изделий из меди и ее сплавов в порошковой металлургии?
2. В чем состоит разница между порошками, полученными электролитическим способом и отлитыми из расплава?
3. Какими свойствами характеризуются исходные порошки?
4. Какие способы производств применяются в технологии получения порошков меди и ее сплавов?
5. В каких случаях применяется способ компактирования порошков меди и ее сплавов в закрытом контейнере?
6. Какова роль среднего напряжения в уплотнении порошковых материалов?
7. Какова роль трения в способах деформирования порошков?
8. Какими формулами описывается деформированное состояние при компактировании в закрытом контейнере?
9. Какими формулами описывается напряженное состояние при компактировании в закрытом контейнере?
10. В чем состоит основное отличие метода изостатического формования?
11. Какова структура очага деформации при прокатке порошка?
12. В чем состоит влияние скорости вращения валков на параметры процесса прокатки?
13. Какие свойства меди учитываются при назначении параметров спекания?
14. В чем состоит разница процессов твердофазного и жидкофазного спекания порошков меди?
15. Назовите отличительные свойства меди, которые формируют область применения полуфабрикатов из нее.
16. За счет чего достигаются высокие электротехнические свойства порошковых изделий из меди?
17. Какие дополнительные материалы формируют фрикционные свойства полуфабрикатов из медных порошков?
18. Какие дополнительные материалы формируют антифрикционные свойства полуфабрикатов?
19. Чем отличаются композиционные материалы на основе меди от сплавов?
20. Какие классы международной патентной классификации помогают осуществить патентный поиск по способам формования изделий из меди и ее сплавов?

Библиографический список

1. Кипарисов С.С. Порошковая металлургия/ С.С. Кипарисов, Г.А. Либенсон. М.: Металлургия, 1980. 496 с.
2. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения: справочник / И.М. Федорченко [и др.]; под ред. И.М. Федорченко. Киев: Наукова думка, 1985. 624с.
3. Порошки цветных металлов: справочник / под ред. С.С. Набойченко. М.: Металлургия, 1997. 542 с.
4. Раковский В.С. Спеченные материалы в технике / В.С. Раковский. М.: Металлургия, 1978. 232 с.
5. Самсонов Г.В. Горячее прессование / Г.В. Самсонов, М.С. Ковальченко. Киев: Наукова думка, 1978. 318с.
6. Гидростатическое формование порошков / В.Я. Буланов [и др.]. Екатеринбург: Наука, 1995. 300 с.
7. Ложечников Е.Б. Прокатка в порошковой металлургии / Е.Б. Ложечников. М.: Металлургия, 1987. 184 с.
8. Ермаков С.С. Металлокерамические материалы в машиностроении / С.С. Ермаков, Н.Ф. Вязников. Л.: Машиностроение, 1975. 232 с.
9. Колмогоров В.Л. О физических соотношениях для некомпактных материалов/ В.Л. Колмогоров, Ю.Н. Логинов // Антифрикционные и фрикционные материалы. Киев: ИПМ АН УССР, 1978. С. 62-71.
- 10.Повышение механических свойств антифрикционных полуфабрикатов на основе меди обработкой исходных порошков в атриторе / С.Д. Куимов, Ю.В. Рязанцев, А.Г. Титова, А.А. Саночкин // Кузнечно-штамповочное производство: перспективы и развитие. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. С.389-392.
- 11.Жаропрочные дисперсно-упрочненные композиционные материалы на основе меди / Ю.В. Рязанцев [и др.] // Цветные металлы. 2004. № 1. С.59-61.
- 12.Химико-механическое легирование порошковых композиций в атриторах – путь к повышению физико-механических и эксплуатационных характеристик материалов / Ю.В. Рязанцев [и др.] // Металлург. 2004. № 9. С. 31-32.
- 13.Логинов Ю.Н. Механика валкового брикетирования / Ю.Н. Логинов, С.П. Буркин, Н.А. Бабайлов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2005. 220 с.
- 14.Логинов Ю.Н. Пластическая деформация без изменения формы /Ю.Н.Логинов, А.А.Богатов// Обработка легких и специальных сплавов. М.: ВИС, 1996. С.271-279.

- 15.Логинов Ю.Н. Влияние подпора на условия захвата при прокатке сыпучей среды / Ю.Н. Логинов, С.П. Буркин, Н.А. Бабайлов// Изв. вузов. Цветная металлургия. 1998. №3. С.28-31.
- 16.Логинов Ю.Н. Решение теоретических и практических задач обработки давлением пористых материалов/ Ю.Н.Логинов // Кузнечно-штамповочное производство. 1998. №10. С.13-16.
- 17.Loginov Yu.N. Cinematics and volume deformations during roll-press briquetting/ Yu.N. Loginov, S.P. Burkin, N.A. Babailov/ Journal of Materials Processing Technology. 2001. V.118. P.151-157.
- 18.Логинов Ю.Н. Исследование процессов деформации некомпактных материалов с особыми реологическими свойствами: автореф. дис... д-ра. техн. наук/ Ю.Н. Логинов. Екатеринбург: 2002. 36с.
- 19.Клячко Л.И. Оборудование и оснастка для формования порошковых материалов / Л.И. Клячко, А.М. Уманский, В.Н. Бобров. М.: Металлургия, 1986. 336 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ, ПРИНЯТЫХ В ЗАРУБЕЖНОЙ
ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Ниже приведены данные сайта www.copper.org фирмы Copper Development Association

Absolute Pore Size – The maximum pore opening of a porous material, such as a filter through which no larger particle will pass. Synonymous with Maximum Pore Size.

Acicular Powder – Needle shaped particles.

Acrysol – A trademark for aqueous solutions of acrylic polymers.

Air Classification – The separation of powder into particle size fractions by means of an air stream of controlled velocity.

Alloy Powder – A powder all particles of which are composed of the same alloy of two or more metals. See Metal Powder.

Apparent Density – The weight of a unit volume of powder, usually expressed as grams per cubic centimeter, determined by a specified method.

Apparent Hardness – The value obtained by testing a sintered material with standard indentation hardness equipment. Since the reading is a composite of pores and solid material, it is usually lower than that of solid material of the same composition and condition. Not to be confused with particle hardness.

Arborescent Powder – See Dendritic Powder.

Atomization – The disintegration of a molten metal into particles by a rapidly moving gas or liquid stream or by mechanical means.

Atomized Metal Powder – Metal powder produced by the disintegration of a molten metal by a rapidly moving gas or liquid stream, or by mechanical means.

Average Pore Size – The average pore diameter of a porous material, such as a filter, which conforms to specific particle removal requirements, usually the removal of 95% to 100% of a given particle size distribution. Synonymous with Nominal Pore Size.

Binder – A cementing medium; either a material added to the powder to increase the green strength of the compact, and which is expelled during sintering; or a material (usually of relatively lower melting point) added to a powder mixture for the specific purpose of cementing together powder particles that alone would not sinter into a strong body.

Blank – A pressed, presintered or fully sintered compact, usually in the unfinished condition, requiring cutting, machining, or some other operation to give it its final shape. See Preforming.

Blending – The thorough intermingling of powders of the same nominal composition (not to be confused with mixing).

Bridging – The formation of arched cavities in a powder mass.

Briquet – See Compact.

Bulk Density – Synonymous with Apparent Density (U.S.), and Loading Weight (British).

Burn Off – That stage of a sintering cycle referring to the time and temperature necessary to remove ingredients used to assist the forming of a powder metallurgy part, such as binders or die lubricants.

Cake – A coalesced mass of unpressed metal powder.

Carbonyl Powder – A metal powder prepared by the thermal decomposition of a metal carbonyl.

Cement Copper – Copper precipitated by iron from copper sulfate solutions.

Chemically Precipitated Metal Powder – Powder produced by the replacement of one metal from a solution of its salts by the addition of another element higher in the electrochemical series, or by other reducing agent.

Classification – Separation of a powder into fractions according to particle size.

Coining – The pressing of a sintered compact to obtain a definite surface configuration (not to be confused with Repressing or Sizing).

Cold Pressing – The forming of a compact at room temperature.

Cold Welding – Cohesion between two surfaces of metal, generally under the influence of externally applied pressure at room temperature.

Compact – An object produced by the compression of metal powder, generally while confined in die, with or without the inclusion of nonmetallic constituents. Synonymous with Briquet.

Compacting Tool Set – See Die.

Composite Compact – A metal powder compact consisting of two or more adhering layers, rings, or other shapes of different metals or alloys with each layer retaining its original identity.

Compound Compact – A metal powder compact consisting of mixed metals, the particles of which are joined by pressing or sintering or both, with each metal particle retaining substantially its original composition.

Compressibility – A density ratio determined under definite testing conditions.

Compression Ratio-The ratio of the volume of the loose powder to the volume of the compact made from it. Synonymous with Fill Ratio.

Continuous Sintering – Presintering, or sintering, in such manner that the objects are advanced through the furnace at a fixed rate by manual or mechanical means. Synonymous with Stoking.

Core Rod – The separate member of the compacting tool set or die that forms a hole in the compact.

Cored Bar – A compact of bar shape heated by its own electrical resistance to a temperature high enough to melt its interior.

Cracked Ammonia – See Dissociated Ammonia.

Cut-See Fraction.

Dendritic Powder – Particles, usually of electrolytic origin, having the typical pine tree structure. Synonymous with Arborescent Powder.

Density (Dry) – The weight per unit volume of an unimpregnated P/M part.

Density (Wet) – The weight per unit volume of a P/M part impregnated with oil or other nonmetallic materials.

Density Ratio – The ratio of the determined density of a compact to the absolute density of metal of the same composition, usually expressed as a percentage.

Die – The part or parts making up the confining form in which a powder is pressed. The parts of the die may be some or all of the following: Die body, punches, and core rods. Synonymous with Mold and Compacting Tool Set.

Die Body – The Stationary or fixed part of a die.

Die Insert – A removable liner or part of a die body or punch. Synonymous with Die Liner.

Die Liner – See Die Insert.

Die Lubricant – A lubricant mixed with the powder or applied to the walls of the die and punches to facilitate the pressing and ejection of the compact.

Die Set – The parts of a press that hold and locate the die in proper relation to the punches.

Dissociated Ammonia – A reducing gas produced by the thermal decomposition of anhydrous ammonia over a catalyst, resulting in a gas of 75% hydrogen and 25% nitrogen. Synonymous with Cracked Ammonia.

Disintegration – The reduction of massive material to powder.

Electrolytic Powder – Powder produced by electrolytic deposition or the pulverization of an electrodeposit.

Endothermic Atmosphere (Gas) – A reducing gas atmosphere used in sintering and produced by the reaction of a hydrocarbon fuel gas and air over a catalyst with the aid of an external heat source. It is low in carbon dioxide and water vapor with relatively large percentages of hydrogen and carbon monoxide. Maximum combustibles approximately 60%.

Equiaxed Powder – See Granular Powder.

Exothermic Atmosphere (Gas) – A reducing gas atmosphere used in sintering and produced by partial or complete combustion of a hydrocarbon fuel gas and air. Maximum combustibles approximately 25%.

Exudation – The action by which all or a portion of the low melting constituent of a compact is forced to the surface during sintering. Sometimes referred to as "bleed out". Synonymous with Sweating.

Fill Ratio – See Compression Ratio.

Fines – The portion of a powder composed of particles which are smaller than a specified size, currently less than 44 microns. See also Superfines.

Flake Powder – Flat or scale-like particles whose thickness is small compared with the other dimensions.

Flow Rate – The time required for a powder sample of standard weight to flow through an orifice in a standard instrument according to a specified procedure.

Fraction – That portion of a powder sample which lies between two stated particle sizes. Synonymous with Cut.

Gas Classification – The separation of powder into particle size fractions by means of a gas stream of controlled velocity.

Granular Powder – Particles having approximately equidimensional nonspherical shapes.

Granulation – The production of coarse metal particles by pouring the molten metal through a screen into water (shotting) or by violent agitation of the molten metal while solidifying. Not to be confused with Granulation as used in pharmaceutical terminology.

Green – Unsintered (not sintered); for example: green compact, green density, green strength.

Growth – An increase in dimensions of a compact which may occur during sintering (converse of Shrinkage).

Hall Paste Process – A ball milling process for powder production in which a liquid hydrocarbon is used as a suspension medium.

Hametag Process – A ball milling method of powder production in which an inert gas atmosphere is used to prevent oxidation of the powder.

Hot Pressing – The simultaneous heating and molding of a compact.

Hydrogen Loss – The loss in weight of metal powder or of a compact caused by heating a representative sample for a specified time and temperature in a purified hydrogen atmosphere—broadly a measure of the oxygen content of the sample, when applied to materials containing only such oxides as are reducible with hydrogen and no hydride forming material.

Hydrogen-Reduced Powder – Powder produced by the hydrogen reduction of a metal oxide.

Impregnation – A process of filling the pores of a sintered compact with a nonmetallic material such as oil, wax or resin.

Infiltration – A process of filling the pores of a sintered, or unsintered, P/M compact with a metal or alloy of lower melting point.

Interconnected Porosity – A network of contiguous pores in and extending to the surface of a sintered compact. Usually applied to P/M materials where the interconnected porosity is determined by impregnating the specimens with oil.

Irregular Powder – Particles lacking symmetry.

K-factor – The strength constant in the formula for radial crushing strength of a plain sleeve specimen of sintered metal. See Radial Crushing Strength.

Lamination – A rupture in the pressed compact caused by the mass slippage of a part of the compact. Synonymous with Pressing Crack and Slip Crack.

Leafing – Formation of a continuous film of metal through surface tension; the higher the surface tension, the more rapid and complete is the leafing.

Liquid Phase Sintering – Sintering of a P/M compact, or loose powder aggregate under conditions where a liquid phase is present during part of the sintering cycle.

Loading – The filling of the die cavity with powder.

Lower Punch – The member of the compacting tool set or die that determines the volume of powder fill and forms the bottom of the part being produced. Secondary or subdivided lower punches may be necessary to facilitate filling, forming and ejecting of multiple-level parts.

Lubricating – Mixing with, or incorporating in, a powder some agent to facilitate pressing and ejecting the compact from the die body; applying a lubricant to the die walls and punch surfaces.

Matrix Metal – The continuous phase of a polyphase alloy or mechanical mixture; the physically continuous metallic constituent in which separate particles of another constituent are embedded.

Maximum Pore Size – See Absolute Pore Size.

Mechanical Component – A shaped body pressed from metal powder and sintered wherein self-lubrication is not a primary property. A part but not an oil-impregnated bearing. See Powder Metallurgy Part.

Mesh – The sieve number of the finest screen through which substantially all of the particles of a given sample will pass. The number of screen openings per linear inch of screen.

Metal Filter – A metal structure having controlled interconnected porosity produced to meet filtration or permeability requirements.

Metal Powder – Discrete particles of elemental metals or alloys normally within the size range of 0.1 to 1000 microns.

Milling – The mechanical treatment of metal powder, or metal powder mixtures, as in a ball mill, to alter the size or shape of the individual particles, or to coat one component of the mixture with another.

Minus Sieve – The portion of a powder sample which passes through a standard sieve of specified number. See Plus Sieve.

Mixing – The thorough intermingling of powders of two or more materials.

Mold – See Die.

Molding – The pressing of powder to form a compact.

Needles – Elongated rod-like particles.

Nodular Powder – Irregular particles having knotted, rounded, or similar shapes.

Oversize Powder – Particles coarser than the maximum permitted by a given particle-size specification.

Packing Material – Any material in which compacts are embedded during the presintering or sintering operation.

Particle Size – The controlling lineal dimension of an individual particle as determined by analysis with sieves or other suitable means.

Particle-Size Distribution – The percentage by weight, or by number, of each fraction into which a powder sample has been classified with respect to sieve number or microns. (Preferred usage: "Particle-size distribution by weight" or "particle-size distribution by frequency.")

Permeability – A property measured as the rate of passage of a liquid or gas through a compact; measured under specified conditions.

Plates – Flat particles of metal powder having considerable thickness.

Plus Sieve – The portion of a powder sample retained on a standard sieve of specified number. See Minus Sieve.

P/M – The acronym representing powder metallurgy. Used as P/M part, P/M product, P/M process, etc.

P/M Part – A shaped object that has been formed from metal powders and bonded by heating below the melting point of the major constituent. A structural or mechanical component, bearing or bushing made by the powder metallurgy process.

Polishing – An operation in which flake powder and a small quantity of lubricant are rotated in a cylinder to cause the particles to rub against each other, thus smoothing the surfaces. The lubricant imparts leafing qualities to the powder.

Pore-Forming Material – A substance included in a powder mixture which volatilizes during sintering and, thereby, produces a desired kind and degree of porosity in the finished compact.

Porosity – The amount of pores (voids) expressed as a percentage of the total volume of the powder metallurgy part.

Porous Metal – A metal structure having controlled interconnected porosity. See Metal Filter.

Powder Flow Meter – An instrument for measuring the rate of flow of a powder according to a specified procedure.

Powder Lubricant – An agent mixed with or incorporated in a powder to facilitate the pressing and ejecting of the compact.

Powder Metallurgy – The arts of producing metal powders and of the utilization of metal powders for the production of massive materials and shaped objects.

Powder Metallurgy Part – See P/M Part.

Powder Rolling – The progressive compacting of metal powders by the use of a rolling mill. Synonymous with Roll Compacting.

Pre-alloyed Powder – An alloy in powder form in which each particle is of the same composition.

Preforming – The initial pressing of a metal powder to form a compact which is subjected to a subsequent pressing operation other than coining or sizing. Also, the preliminary shaping of a refractory metal compact after presintering and before the final sintering.

Premix – A uniform intermingling of powders of two or more materials performed by the powder producer (not to be confused with preblending – See Blending).

Presintering – The heating of a compact at a temperature below the normal final sintering temperature, usually to increase the ease of handling or shaping the compact, or to remove a lubricant or binder prior to sintering.

Pressed Bar – A compact in the form of a bar; a green compact.

Pressed Density – The weight per unit volume of an unsintered compact. Synonymous with Green Density.

Pressing Crack – See Lamination.

Puffed Compact – A compact expanded by internal gas pressure.

Pulverization – The reduction in particle size of metal powder by mechanical means; a specific type of Disintegration.

Punch – Part of a die or compacting tool set which is used to transmit pressure to the powder in the die cavity. See Upper Punch and Lower Punch.

Radial Crushing Strength – The relative capacity, of a plain sieve specimen made by powder metallurgy, to resist fracture induced by a force applied between flat parallel plates in a direction perpendicular to the axis of the specimen.

Rate-of-Oil-Flow – The rate at which a specified oil will pass through a sintered porous compact under specified test conditions.

Reduced Metal Powder – Metal powder produced, without melting, by the chemical reduction of metal oxides or other compounds.

Repressing – The application of pressure to a previously pressed and sintered compact, usually for the purpose of improving some physical property.

Roll Compacting – See Powder Rolling.

Rolled Compact – A compact made by passing metal powder continuously through a rolling mill so as to form relatively long sheets of pressed material.

Rotary Press – A machine fitted with a rotating table carrying multiple dies in which a material is pressed.

Screen Analysis – See Sieve Analysis.

Segment Die – A die made of parts which can be separated for the ready removal of the compact. Synonymous with Split Die.

Shrinkage – A decrease in dimensions of a compact which may occur during sintering (converse of Growth).

Sieve Analysis – Particle size distribution; usually expressed as the weight percentage retained upon each of a series of standard sieves of decreasing size and the percentage passed by the sieve of finest size. Synonymous with Screen Analysis.

Sieve Classification – The separation of powder into particle-size ranges by the use of a series of graded sieves.

Sieve Fraction – That portion of a powder sample which passes through a standard sieve of specified number and is retained by some finer sieve of specified number.

Sintering – Bonding of particles in a mass of metal powder by molecular (or atomic) attraction in the solid state, through the application of heat, causing strengthening of the powder mass and normally resulting in densification and recrystallization due to material transport. Sintering (Noun)-See P/M Part.

Sizing – A final pressing of a sintered compact to secure desired size.

Slip Casting – A method of forming metal shapes by pouring a stabilized water suspension of metal powders into the shaped cavity of a fluid-absorbing mold, diffusing the liquid into the mold wall, removing the casting from the mold and sintering.

Slip Crack – See Lamination.

Specific Surface – The surface area of one gram of powder, usually expressed in square centimeters.

Spherical Powder – Globular shaped particles.

Split Die – See Segment Die.

Spongy – A porous condition in metal powder particles usually observed in reduced oxides.

Stoking – See Continuous Sintering.

Stripper Punch – A punch, which in addition to forming the top or bottom of the die cavity, later moves further into the die to eject the compact.

Subsieve Fraction – Particles all of which will pass through a 44 micron (No. 325) standard sieve.

Superfines – The portion of a powder composed of particles that are smaller than a specified size, currently less than 10 microns.

Sweating – See Exudation.

Tap Density – The apparent density of a powder obtained when the receptacle is tapped or vibrated during loading under specified conditions.

Transverse Rupture Strength – The stress, calculated from the flexure formula, required to break a specimen as a simple beam supported near the ends and applying the load midway between the fixed center line of the supports.

Upper Punch – The member of the compacting tool set or die that closes the die and forms the top of the part being produced.

Warping – Distortion which may occur in a compact during sintering.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРОШКОВ МЕДИ И МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Ниже приведены данные сайта www.copper.org фирмы Copper Development Association

Область применения и название продукции	Применяемый материал
<u>Abrasive Wheels</u>	
Bonding	Copper
<u>Agriculture</u>	
Fungicides	Copper
Lawn and Garden Equipment	Bronze
Soil Conditioning	Copper
<u>Aerospace</u>	
Brake Linings	Copper
Counterweights	Copper-tungsten
Filters	Bronze
<u>Automotive</u>	
Brake Bands, Liners	Copper, brass, copper-lead, copper-lead-tin
Bushings	Bronze
Instruments	Nickel silver
<u>Building and Construction</u>	
Conductive and Nonsparking Floors	Copper
Decorative Plastics	Copper, bronze, brass
Domestic Water Filters	Brass
Lock Components	Brass
Pipe Joint Compounds	Copper
<u>Chemical</u>	
Catalysts	Copper
Filters	Bronze
Valve and Pump Parts	Copper-nickel
<u>Coatings</u>	
Antifouling Paints	Copper
Conductive Paints and Plastics	Copper, brass
Decorative Paints	Copper, brass, bronze
Lacquers	Brass, bronze
Mechanical (Peen) Plating	Copper, brass
Spray Coating>	Copper, brass
Vacuum Metallizing	Copper
Coins, Medals, Medallions	Copper-nickel, brass
<u>Electrical and Electronic</u>	
Brushes	Copper
Brush Holders	Nickel silver
Contacts	Copper
Heat Sinks	Copper, dispersion-strengthened copper
Printed Circuits	Copper
Semi-conductor Stud Bases	Copper, dispersion-strengthened copper
Telephone Components	Brass, bronze

<u>Hardware</u>	
Lock Components	Brass, bronze
<u>Industrial, General</u>	
Balancing Weights	Copper-tungsten
Bearings and Bushings	Bronze, copper-lead, copper-lead-tin
Filters, Liquid and Gas	Bronze
Flame Arrestors	Bronze
Instruments, Control	Nickel silver
<u>Joining</u>	
Brazing Compounds	Copper, bronze, brass
Resistance Welding Electrodes	Copper, dispersion-strengthened copper
<u>Lubricants</u>	
Anti-galling Pipe Joint Compounds	Copper
Copper Lubricants	Copper
Plastic-Filled Metal	Copper, bronze
<u>Machining</u>	
Electrical Discharge Machining (EDM)	Copper
Electrochemical Machining (ECM)	Copper
<u>Office Equipment</u>	
Business Machines	Brass
<u>Ordnance</u>	
Armor-piercing Cores	Copper
Fuse Parts	Brass
Projectile Rotating Bands	Copper, brass
<u>Personal Products</u>	
Cordless Electric Toothbrush and Razor	Copper
Fingernail Lacquer	Copper
Photographic Equipment	Bronze, brass, nickel silver
Poker Chips	Brass, bronze, copper-nickel
<u>Printing Inks</u>	
Metallic Inks for Offset, Letterpress, Gravure	Copper, brass
<u>Radio and Television</u>	
Printed Circuits	Copper
<u>Railroads</u>	
Brake Linings	Bronze, copper-lead, copper-lead-tin
Friction Strips on Pantographs	Copper
<u>Self-lubricating Parts</u>	
Oil-filled	Bronze
Plastic-filled	Copper
<u>Ships</u>	
Antifouling Paint	Copper

ВОЗМОЖНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ

Ниже приведена стандартная конфигурация производства деталей ООО «Димитровградский завод порошковой металлургии ОАО «Димитровградский автоагрегатный завод»» (данные сайта <http://www.daaz.ru>).

Производство порошковой металлургии состоит из семи участков:

- смесеприготовительного;
- формовки
- спекания;
- калибровки;
- маслопропитки;
- парового оксидирования и виброзащитки;
- механической обработки;
- упаковки.

В производстве изготавливаются детали конструкционного и антифрикционного, назначения традиционным методом порошковой металлургии – смесеприготовлением, формованием, спеканием, калибровкой, защитой от коррозии (парооксидирование или вакуумная маслопропитка). Для ряда деталей конструкционного назначения (коробки передач двигателя автомобиля) средненагруженных применяют метод двойного прессования – смесеприготовление, формование, предварительное спекание, допрессовку, высокотемпературное спекание, калибровку. Имеется участок механической обработки (фрезеровка, сверление и снятие фасок).

Контроль качества изделий осуществляется на всех стадиях изготовления изделий. Контроль поступающих исходных материалов, металлографический, химический анализ изделий, контроль плотности, механических характеристик, контроль защитной атмосферы в газогенераторах и печах спекания осуществляется работниками лаборатории порошковой металлургии.

В производстве более 50 % оборудования импортного производства:

- прессовое – мощностью от 50 до 6500 кН фирм "Йошизука" Япония, "Дорст", "Маннесманн" Германия, "Биллауд" Франция;
- печи спекания - конвейерного типа, с шагающими балками, с атмосферами спекания (эндогаз и диссоциированный аммиак) фирм "Хейс" США, "Кремер", "Элино" Германия;
- виброобразивная установка фирмы "Рослер" Германия;

остальное оборудование Российского производства и изготовления ОАО "ДААЗ".

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Динамика изменения цен в России на медный порошок марки ПМС-1 в рублевом и долларовом исчислении

Дата	Цена, \$/т	Цена, руб/т
23.05.06	7316	198240
01.06.06	9281	250000
15.07.06	12981	350000
30.09.06	13070	350000
01.03.07	13385	350000

Сведения приводятся по данным ЗАО «Русцветмет» сайта www.infogeo.ru с учетом НДС.

ГЛОССАРИЙ АНГЛОЯЗЫЧНЫХ ТЕРМИНОВ (GLOSSARY OF TERMS),
ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕДНЫХ СПЛАВОВ
(ПО ДАННЫМ [HTTP://BUSBYMETALS.COM](http://busbymetals.com))

ADMIRALTY (443) — 71% copper plus zinc with 1% tin; largely used for condenser tubes.

ALLOY — a composition of two or more commercially pure metals.

ALPHA BRASS — any brass containing more than approximately 64% copper which normally shows only Alpha crystals under the microscope.

ALTERNATING STRESS — the cyclical change from tension to compression and back again in the metal. Example — reversal of spring deflections.

ALUMINUM BRASS (687) REVALON® — a metal containing 77% copper, 21% zinc and 2% aluminum as its chief constituents.

ALUMINUM SILICON BRONZE (642) — alloy consisting chiefly of copper with aluminum and silicon added to give it additional qualities of strength and hardness.

AMORPHOUS — refers to absence of crystalline structure.

ANNEAL — process of softening metals by subjection to moderate or high temperatures. The hardness of annealed metals will vary with the degree of anneal.

ARCHITECTURAL BRONZE (385) — actually a special brass whose composition and properties render it suitable for extrusion into complicated shapes for architectural and industrial use.

ASME — American Society of Mechanical Engineers — a nationally recognized professional group of engineers whose fundamental purpose is to exchange engineering information among its membership.

ASTM — American Society for Testing and Materials — this is the foremost body of specification writers in the world.

BERYLLIUM COPPER (170, 172, 175) — a copper-base alloy whose chief addition is beryllium. The principal properties of the alloy are great hardness, resistance to fatigue failure and an ability to be tempered.

BETA BRASS — a copper zinc phase which forms when zinc is between about 36 and 50%. Very ductile at hot working temperatures. Contrast with “alpha” phase or gamma” etc.

BRASS — any alloy of copper with zinc as the principal alloying agent, with or without small quantities of some other metals.

BRINELL — a test used for measuring the hardness of a specimen wherein a steel ball of standard diameter is pressed into the test sample under a given load.

“B” SCALE — (Rockwell) — a specific scale of numbers used in the Rockwell testing of specimens whenever a 1/16” ball with 100 Kg load is applied.

B. & S. GAUGE — The Brown and Sharpe or American Wire Gauge — the diameters of wires having successive numbers in this gauge are in the ratio of 1.123 to 1. also used for strip or sheet.

CARTRIDGE BRASS (260) — an alloy composed of 70% copper, 30% zinc providing combined strength ductility and resistance to corrosion. Is well — suited to deep drawing of all kinds.

CATALYSIS — acceleration of a chemical reaction by a substance (catalytic agent) which itself appears to remain unchanged.

CATHODE — the negative electrode of a cell.

COLD DRAWN — a term used to define the process of pulling a material through a set of dies designed to reduce the cross — sectional area of the metal at essentially room temperature — for tube, rod and wire.

COLD ROLLED — the reduction in gauge of metal by rolling at room temperatures — for strip, sheet and rolled bar.

COLD WORKING — a general term used to describe the variety of processes used to change the form of metals well below the softening temperature.

COMMERCIAL BRONZE (220) — an alloy containing 90% copper, 10% zinc; so called because of its bronze Color.

COMMERCIAL TOLERANCES — the “plus” and/or “minus” allowances that are acceptable on a specified dimension.

CONCENTRATION CELL — an electrolytic cell caused by concentration differences in the electrolyte.

CONDENSER TUBE (Also heat exchanger tube) — tube manufactured to special requirements as to straightness, tolerances, finish, temper and freedom from physical defects.

CORRODING MEDIUM — the chemical substance that corrodes.

CRYSTAL — a solid assembly of atoms, regularly arranged in three dimensional space.

CUPRO-NICKEL (See 700 Series.) — Several copper — nickel alloy compositions especially resistant to corrosion by salt water.

DEALUMINIFICATION — form of corrosion applying to Aluminum Bronzes of multi — phase crystal structure. (See Dezincification)

DEOXIDIZED — a term applied to any metal or alloy to indicate its having been treated to remove Oxygen. It is specially applied to copper and refers to removal of oxygen by means of phosphorus or other strong deoxidizing agents.

DEZINCIFICATION — a form of corrosion of brass characterized by solution followed by deposition of the copper back on the brass.

DISSOCIATION — breaking up of molecules into ions.

DRAWING — a process used to pull rod, tube, or wire through a set of dies for the purpose of reducing the cross — sectional area, hardening the metal, or changing its shape.

DUCTILITY — the inherent property of a metal denoting its ability to be cold or hot worked.

ELASTIC LIMIT — the unit stress to which metal can be put without permanent deformation.

ELECTROLYSIS — the decomposition of metals by means of an electric current.

ELECTROLYTIC COPPER — copper that has been refined by electrolytic deposition. Used for manufacture of tough pitch copper and copper alloys.

ELECTROLYTIC TOUGH PITCH COPPER — the remelted electrolytic copper containing about .03% oxygen comprising the bulk of copper” products.

ELECTROMOTIVE SERIES — a series in which the metals are arranged according to their normal electrode potentials.

ELONGATION — the stretch of metal under a tensile stress. The percentage of elongation is a measure of the ductility of metals.

EROSION-CORROSION — dual action taking place upon metal exposure to corrosive fluids which result in local perforation and due also to excessive velocity or turbulence.

EXTRUSION — the pushing of metal, usually at high temperature, through a die to form various shapes.

FATIGUE — the failure of metals by repeated or alternate stresses which are lower than static stresses which cause breakage.

FORGING ROD (377) — metal fabricated to rod or shape which will be later cut up, preheated and shaped while hot by the blow of a hammer or in a die.

FREE-MACHINING — ability to be cut easily by a cutting tool. Lead brasses and tellurium copper exhibit this quality.

“F” SCALE — (Rockwell) — a specific scale of numbers adapted in the Rockwell test for measuring the surface hardness of a metal by use of a 1/16” steel ball with a 60 Kg load. (See “B” Scale.)

FULL HARD — the temper of metal cold rolled 4 B. & S. numbers or approximately 37%.

GALVANIC ACTION — a type of corrosion wherein decomposition of a metal takes place by means of an electric current that is set up whenever two dissimilar metals are in contact with each other in a conducting solution.

GAUGE — 1) a measure of the thickness of the metal,
2) an instrument used to measure the dimensions.

GILDING METAL (210) — a copper — zinc alloy containing 95% copper, 5% zinc. It is used chiefly on the basis of its color.

GRAIN BOUNDARIES....the boundaries between individual crystals or grains in metals.

GRAIN GROWTH — an increase in the grain size of metal.

GRAIN SIZE — the size of grains or crystals in metal, usually referred to in terms of average or mean diameter and expressed in millimeters, e.g., .010 mm is very small and .200 mm is very large.

HARDNESS — same as Temper.

HERCULOY (655) — a name applied to Revere Silicon Bronze. Its outstanding characteristics are high strength and resistance to corrosion.

HOT ROLLING — a process of fabrication used to reduce the cross — sectional area of metal at a temperature above the softening Point — usually above 1000°F for copper metals.

HOT WORKED — a term describing a metal that has been processed at a temperature above the softening point.

INTERNAL STRESS — the load per unit area developed inside a body by cold working or deformation.

ION — an electrically charged atom or radicle whose migration effects the transportation of electricity through electrolytes and occasionally through gases. Positively charged Ions are known as "Cations" and negatively charged Ions are known as 'Anions'.

IONIZATION — the production of Ions from molecules such as Salts, etc.

LEADED BRASSES — a special group of copper-zinc alloys that contain small amounts of lead which imparts free-machining properties to the metal. (See alloys in 300 series.)

MERCUROUS NITRATE TEST — an accelerated corrosion test whereby the use of mercury salts determines the presence of applied or residual stresses or their combination, which might bring about the failure of the metal in service or storage through 'season cracking'.

MIXTURE — a term used to denote an alloy or composition.

MOLECULE — a combination of two or more atoms.

MONEL METAL — a 66% nickel-copper alloy.

MUNTZ METAL (280) — a copper-zinc alloy having 60% copper content.

NAVAL BRASS (464) — a 60% copper-zinc alloy also containing 3/4% tin.

NICKEL SILVER — a name given to a group of copper-zinc nickel alloys which produce a metal of usually white color. (See 700 series.)

NONFERROUS — a term applied to metallic alloys not composed mainly of iron.

NON-OXIDIZING — a term used to describe resistance to oxidation.

OFHC* — a combination of letters meaning “Oxygen Free High Conductivity.” *A registered trademark of American Metal Climax, Inc. for their oxygen free copper.

ORANGE PEEL — a rough surface defect obtained on cold working brass that resembles orange peel.

PHOSPHOR BRONZE — copper-tin alloys deoxidized by phosphorus — highly useful as material for springs. (See 500 series.)

PHOSPHOR DEOXIDIZED COPPER (U0 & 122) — copper that has been deoxidized with phosphorus.

PIERCING — an initial mill operation used in making seamless tubes by means of rolling a pre-heated billet in a Mannesmann-type mill.

PRECIPITATION HARDENING — this term is often referred to as “accelerated age hardening,” and it is a process usually involving two heat treatment operations. The metal is heated to a high enough temperature to put elements into solution in more or less equilibrium. It is then quenched, trapping these elements in this state. A further heating to moderate temperatures will allow hard particles to precipitate from the solution throughout the crystalline structure. These particles interfere with the movement within the crystal and so impart hardness and strength. Beryllium Copper (170), Chrome Copper (182) and Zirconium Copper (150) are examples, as are many aluminum alloys.

PREFERRED ORIENTATION — a term describing a condition within the metal whereby the crystals are not arranged irregularly or “at random” but have a preferred or directional orientation.

READY-FINISH ANNEAL — a mill term referring to the anneal before the final cold working process.

RECRYSTALLIZATION — the transformation taking place in grain structure of cold worked metals during the process of annealing.

RED BRASS (230) — a copper-zinc alloy having an 85% copper content.

ROCKWELL — a term used to describe a hardness test reading on metal that was made by testing equipment called the “Rockwell Hardness Tester.”

ROLLING — a general term applied to various processes which work the metal by means of rolling between cylindrical or shaped rolls.

ROMAN BRONZE — a copper-zinc alloy having a small quantity of tin. (See 464A.)

S.A.E. — Society of Automotive Engineers.

SCELESCOPE — a device used for testing hardness of metals wherein a small hammer is dropped onto the sample from a fixed height and the hardness determined by the height of the rebound of the hammer. Especially useful for checking rolls for strip or other rolling.

SEASON CRACKING — a term describing the failure taking place on metal possessing excessive internal or external stresses when in contact with a

certain corroding atmosphere. This failure, which is seen as cracks, may take place after a few days, weeks or even longer.

SINGLE PHASE ALLOYS — alloys containing only one phase. e.g., cartridge brass.

SLIP-PLANES — planes in the metal of relatively easy slip or deformation.

SPECTROSCOPE — an instrument used for analyzing the spectra of rays emitted by luminous bodies, and hence the composition of an alloy or substance.

STAMPING — a process used to shape various articles by means of a die and a punch.

STATIC-STRESS — a steady force exerted in distinction to cyclic stresses.

STRAIGHTENING MACHINES — processing equipment used for taking out the bends and kinks in tube, rod and wire.

STRESS CORROSION — same as “season cracking.”

SUPERFICIAL ROCKWELL — using the 30T or 15T scales, which are lighter penetrating loads than for “B” & “F”, and are more suitable to testing of light gauge and/or annealed materials (see Rockwell).

TELLURIDE — a compound of tellurium.

TELLURIUM COPPER — copper containing a small amount of tellurium for purpose of improving machinability.

TEMPER — the condition of a metal or alloy determining its physical properties as produced by the mechanical and thermal treatments it has received.

TENSILE STRENGTH — the maximum breaking load per unit of original cross-section areas when tested in tension.

VALENCE — the number of ions that will combine with a given ion to form a molecule.

YIELD STRENGTH — as applied to nonferrous alloys, yield strength is an empirical value determined by the stress which will produce a certain amount of elongation, usually below the point of permanent deformation. (See ASTM E-8 for definitions and test methods).

Учебное издание

Юрий Николаевич Логинов

Изготовление полуфабрикатов и изделий из порошков
меди и медных сплавов

Редактор *И.Г. Южакова*

Компьютерный набор *Ю.Н. Логинова*

ИД № 06263 от 12.11.2001 г.

Подписано в печать

Формат 60х84 1/16

Бумага писчая

Печать офсетная

Уч.-изд.л. 13,2

Усл.печ.л. 12,03

Тираж 100

Заказ 336

Редакционно-издательский отдел

ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул.Мира, 19

rio@mail.ustu.ru

Ризография НИЧ ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул.Мира, 19